



# BOUWFYSICA

VAKBLAD VAN DE NEDERLANDS VLAAMSE BOUWFYSICA VERENIGING



## HOUT

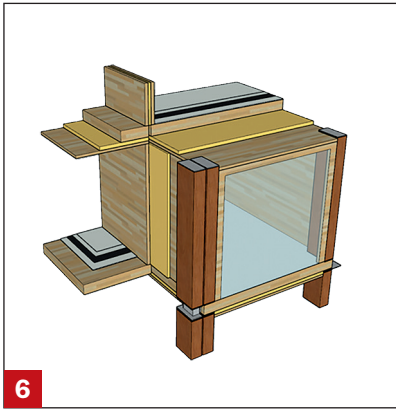
THEMANUMMER

▶ AMARE ▶ GELUIDISOLATIE PREFAB-HOUTEN MODULES ▶ LEVEL MEASUREMENTS  
IN CLT-BUILDINGS ▶ BRANDVEILIG MET HOUT ▶ AUTOMATISCHE DAGLICHTFACTOR

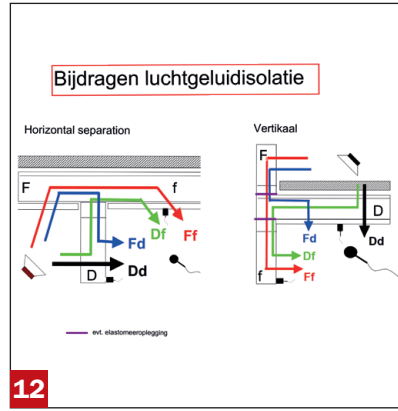
3

2023  
JRG 34

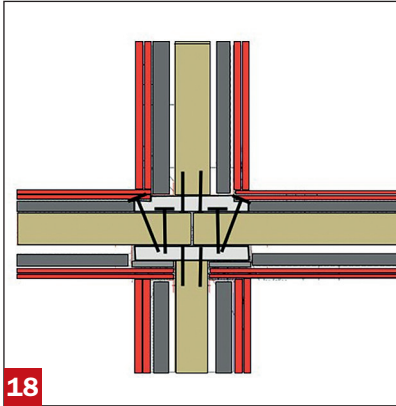




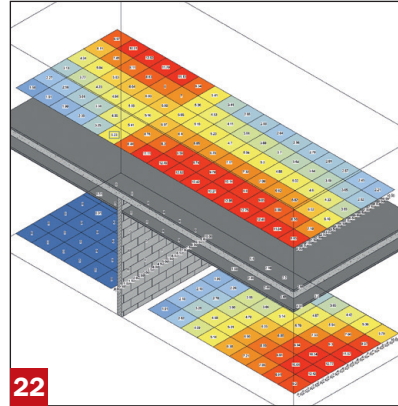
6



12



18



22



## Kees van der Linden

We hadden een mooi redactioneel, maar toen... kregen we het bericht dat Kees van der Linden is overleden. Kees was medeoprichter van de NVBV. En dus ook van dit blad. En was al die 35 jaar zeer betrokken en actief. Dan kunnen we nog zo'n mooi redactioneel stukje hebben, dit gaat even voor.

Kees heeft diverse malen in het bestuur gezeten, heeft de Kees van der Lindenprijs opgezet, heeft het Handboek Bouwfysica (ook al een ideeetje van hemzelf) net weer helemaal actueel gemaakt. Onlangs nog gaf hij de aanzet voor de Onderzoeksagenda.

Hij belde regelmatig met de redactie: 'Wat weer een fijn blad! Wanneer komt de volgende? Heb je hier en daar nog aan gedacht?' Inderdaad, zeer betrokken. En ook nog eens altijd vriendelijk, actief, vol bouwfysica-kennis en vol plannen.

Wij gaan hem heel erg missen. ■

De gehele redactie

### 2 HET NIEUWE CULTUURHUIS AMARE IN DEN HAAG

ir A.P. van der Horn - de Vries, NEN, Delft

### 6 GELUIDISOLATIEPRESTATIES PREFAB-HOUTEN MODULES VOOR WONINGBOUW

dr. G. Vairetti, A.A. Hartman, ir. R. Roijackers

### 11 COLUMN: GEZONDHEID IS EEN ONDERBELICHT THEMA BIJ HOUTBOUW

### 12 CONSTRUCTION LEVEL MEASUREMENTS IN CLT-BUILDINGS FOR VALIDATION OF PREDICTION MODELS FOR AIRBORNE- AND IMPACT SOUND INSULATION

M.P.M. Luykx MSc, Peutz

### 18 BRANDVEILIG BOUWEN MET HOUT

ir. B. Kersten, LBP|SIGHT

### 22 AUTOMATISCHE DAGLICHTFACTOR BEREKENING

T. Seijs, DD-lab, Alkmaar

### 27 COLUMN: BOUWEN IN CLT

### 28 ACTUEEL

### 33 VERENIGING

🔥 WARMTE, LUCHT EN VOCHT

🏛️ BOUWFYSICA VAN MONUMENTEN

🔥 BRANDVEILIGHEID

🏠 BINNENMILIEU EN GEZONDHEID

⚡ ENERGIE EN MILIEU

🎧 GELUID EN TRILLINGEN

📄 WET- EN REGELGEVING

🏢 STEDENBOUWFYSICA

# HET NIEUWE CULTUURHUIS AMARE IN DEN HAAG

## EEN GEBOUW DAT ZINGT

**In het vorige nummer hebben we al laten zien dat Amare een bijzonder gebouw is. Dit concert-, theater- en onderwijsgebouw in hartje Den Haag moest aan veel tegenstrijdige eisen voldoen. Hoe kun je brand- en rookoverslag voorkomen als je voor de akoestiek dilataties tussen verschillende bouwdelen wilt? En hoe zorg je ervoor dat het geluid in de grote zalen niet naar elkaar doorklinkt, en ook niet vanuit, naar of tussen de vele oefenruimtes eromheen? En dan ook nog BREEAM Excellent scores? In dit artikel gaan we daar dieper op in.**



ir A.P. (Annet) van der Horn - de Vries, NEN, Delft

### EEN LEVEN LANG LEREN

Amare wordt veel gebruikt voor educatie. Dat mag je ruim nemen. Niet alleen zit het Koninklijk Conservatorium (KC) op de vierde, vijfde en zesde verdieping, ook worden er in het kader van 'een leven lang leren' cursussen voor scholen en volwassenen georganiseerd op de onderste lagen. Bijzonder is de School voor Jong Talent (SvJT), onderdeel van het Conservatorium. Er zijn 'gewone' klaslokalen, want de jonge talenten moeten ook gewoon naar school: lager onderwijs (vanaf groep 7), mavo, havo en vwo. Daarbovenop krijgen ze een flink aantal uren per dag les in dans en/of muziek. De SvJT is gesitueerd op de bovenste verdieping. De kantoor- en leslokalen van de school omringen twee buitenspeelplaatsen. Bijzonder is dat er één stil plein is (figuur 1), waar de leerlingen rustig aan moeten doen vanwege de aangrenzende kantoorruimten van de staf. Op het andere plein mogen de leerlingen wél rennen en schreeuwen. De SvJT bevindt zich direct boven de Concertzaal. Om hinder in de Concertzaal ten gevolge van rennende kinderen en muziekactiviteiten in de school (en vice versa) te voorkomen, bestaat de tussenliggende scheiding uit een dubbele betonvloer, onderling zeer laagfrequent afgeveerd. Ook zijn de schoolpleinen voorzien van een verend opgelegde houten vloer. Omdat het buiten is, moest hierbij ook rekening worden gehouden met de afvoer van regen-

water. Uiteraard is er in het ontwerp en de uitvoering veel zorg aan besteed dat de hemelwaterafvoeren geen storende geluiden in de zaal zouden veroorzaken.

De speciale studio's voor muziek- en danslessen in het Koninklijk Conservatorium zijn bijna allemaal anders. Om flutter te voorkomen is er vrijwel geen wand te vinden die een hoek van 90 graden maakt (figuur 2). Verschillende afmetingen zijn nodig voor allerlei vormen van individuele en groepslessen en -oefeningen. De akoestische principes en details zijn in essentie wel van dezelfde familie. Figuur 3 geeft een voorbeeld. De studio's zijn allemaal als doos-in-doos constructie ontworpen. Met zwevende dekplaten op de massieve constructievloer en met verend opgehangen plafonds. De wanden zijn metal stud vanwege de gewichtsbesparing, maar niet gekoppeld. Sowieso is 3D ontkoppelen nodig. Je moet immers zorgen dat geluid niet horizontaal en niet verticaal kan doorslaan. En dan moesten ze ook nog een instelbaar zijn qua akoestiek. Toch is het gelukt om met de wanden een  $D_{NThouse}$  van 63 dB te halen! Voorafgaand aan de realisatie van Amare is een enorme mock up gebouwd. Daarin is door LBP|Sight in een omvangrijk meetprogramma veel kennis opgedaan over de noodzakelijke opbouw van wanden en vloeren en zijn -voorafgaand bedachte- (ontkoppelings)details getoetst. Om te voorkomen dat de zware (sub)luidsprekers daarbij de vloeren zouden aanstoten, zijn deze verend opgehangen in wagentjes. Om aan de extreem hoge eisen te kunnen voldoen bestaat de metal stud beplating aan weerszijden van sommige wanden uit maar liefst tien verzwaarde gipsplaten. De gebruikte 300.000 m<sup>2</sup> gipsplaat was wel even slikken voor BREEAM.

### INSTITUUT VOOR SONOLOGIE

Eigenlijk is het heel logisch dat in Amare ook onderwijs en onderzoek mogelijk is op het gebied van elektronische muziek, opnames, afspelen en zaalversterking. Het Instituut voor Sonologie heeft eindelijk eigen ruimtes gekregen. De hoge eisen aan de studio's zijn misschien nog wel belangrijker voor elektronische muziek dan voor akoestische weergave. Sonologie is erg blij met de akoestiek, die naar verluid 'fantastisch' en 'perfect' is. Er zijn opnamestudio's van Art of Sound (een onderdeel van het KC) en is er de Elektronica Werkplaats (EWP). De grootste ruimte is het New Music Lab. Deze is bedoeld om in



1

Een stil schoolplein is een bijzondere ruimte bij een bijzondere school: de School voor Jong Talent



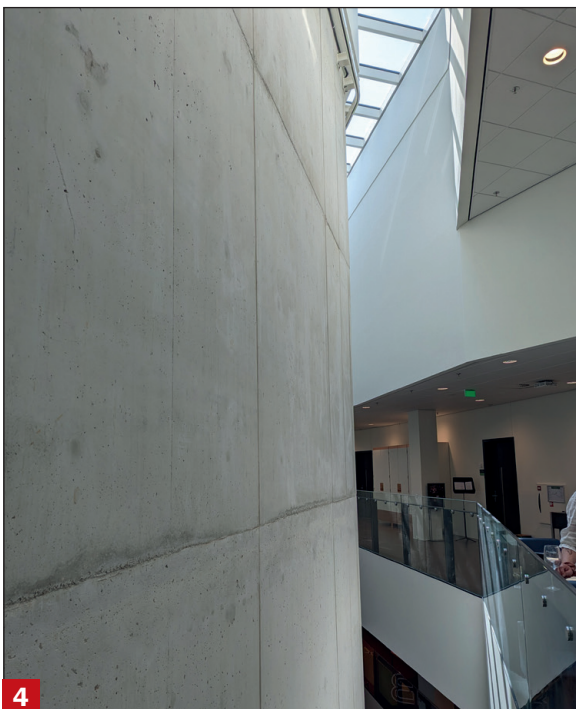
2

Instrumenten bij het Koninklijk Conservatorium

groepslesverband naar ruimtelijk gecomponeerde elektroakoestische muziek te luisteren en te experimenteren met luidsprekeropstellingen.

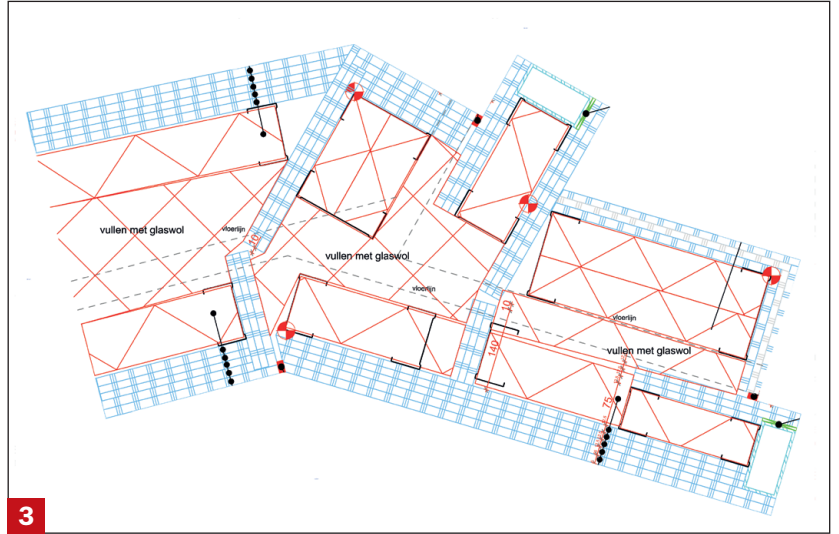
**VIER GROTE ZALEN**

Er zijn vier grote zalen: de Danszaal ofwel Theaterzaal die primair is ontworpen voor dansuitvoeringen van het wereldberoemde Nederlands Dans Theater (maar ook voor grote theater- en muziekproducties), de Concertzaal voor zowel klassieke muziek (vaste bespeler is het Resi-



4

De grote zalen zijn volledig los van de andere ruimten, waar mogelijk met ruimtelijk effect



3

Voorbeeld van een bouwkundig detail waarbij de schuine hoeken opvallen

dentie Orkest) als popconcerten, de Repetitiezaal voor het orkest (ofwel de Amare Studio) en de Conservatoriumzaal (de eigen concertzaal van het Koninklijk Conservatorium). Deze zijn alle vier als doos-in-doos constructie volledig in beton uitgevoerd, en ze staan allemaal op hun eigen, losse, fundering. De Conservatoriumzaal is zelfs als een soort tafel óver de Theaterzaal heen gebouwd.

De zalen mogen geen last van elkaar hebben. Maar uiteraard mag er ook geen geluidstek zijn vanuit en naar de meer dan duizend andere ruimten. De zalen zijn daarom volledig los van de andere ruimten (figuur 4). Maar akoestisch loskoppelen betekent dat rook en vuur ook door de dilataties kunnen. Om toch aan de eisen van veiligheid te kunnen voldoen, zijn speciale bewegende brandwerende details ontwikkeld. We zagen overall de extra brede, maar relatief dunne en slappe horizontale plinten (figuur 5). Deze plinten dekken de 50 mm brede dilatatievoegen rondom de zalen af. Ze zitten alleen vast aan de betonnen wanden van de zaal, maar schuiven over de vloer van de omliggende (door wind belaste en daardoor bewegende) gebouwconstructie. Verder zijn er vibratiedempers onder de zalen aangebracht, op de draagconstructie. Dat zijn lagen rubber en staal, als een extra grote spekkoeck. Het vergt veel afstemming tussen de aan- nemer, adviseur en leverancier om dat allemaal op het



5

Speciale plinten dekken de dilatatievoegen rondom de zalen af

juiste moment, op de juiste plaats en met de correcte samenstelling te kunnen monteren. Helaas ontstond na oplevering ter plaatse van enkele oplegposities van de Concertzaal een probleem. Tijdens de bouw was de belasting van de dempers onder deze zaal tijdelijk net te zwaar. Hierdoor zijn de rubbers enkele millimeters te veel ingedeukt, waardoor de deuren van de zaal niet goed sloeten. Om dit op te lossen heeft de aannemer tijdelijk stalen kranen om de dragende kolommen aangebracht, en daarop vijzels geplaatst. Hiermee is de hele constructie van de Concertzaal (15 miljoen kilo!) enkele centimeters omhoog gebracht, zodat de betreffende dempers konden worden vervangen.

### FLEXIBELE ZAALAKOESTIEK

De zaalakoestiek is in elke zaal anders ontworpen. Een mooi voorbeeld is de danszaal. Hier moet de dansmuziek in alle hoeken te horen zijn, waar diverse klankborden voor zorgen. In de zaal worden ook theater- en musicalvoorstellingen gegeven. Dan is spraakverstaanbaarheid belangrijker. Daarom zijn de panelen aan de zijkant om te klappen: de ene kant reflecteert het geluid, de ander kant absorbeert. Net wat nodig is.

In de concertzaal kun je ook met weerkaatsing en absorptie spelen, maar dan via de schuifpanelen met reliëf aan de wanden en de panelen aan het plafond. De nagalmtijd is instelbaar. Het Residentie Orkest waardeert de podiumakoestiek enorm. In de zaal mengt het geluid van het orkest zich optimaal, maar je kunt toch de individuele muzikanten aan wijzen. De zaalakoestiek is volgens kenners zo goed, dat het zelfs betere musici aantrekt voor het Residentie Orkest. Ook de groene stoelen helpen bij de absorptie.

Voor popconcerten worden de stoelen uit de concertzaal weggehaald en dan is de akoestiek meteen anders. Of het binnenschuiven van de bar veel voor de akoestiek doet,

hebben we niet kunnen verifiëren. Wel weten we dat vanwege het bier er geen luchtroosters in de vloer konden. De verse lucht wordt via roosters in het eerste balkon ingeblazen. Zorgvuldig uitgekozen en geplaatste jets blazen de lucht in. De eis was om hierbij hooguit 25 dB(A)/NR20 aan geluid te produceren, want het installatiegeluid mag ook bij de stillere stukken uiteraard niet boven de muziek uitkomen. Bij de eerste opleveringsmetingen veroorzaakte de luchtbehandelingsinstallatie een niveau van 35 dB(A). Grondig onderzoek wees uit dat er een schoonmaakdoek in één van de buizen was achtergebleven! Toen die weg was genomen was de ventilatie net zo muisstil als het bedacht was.

### VERNUFTIGE CONSTRUCTIE EN NAUWKEURIGE KLIMAATBEHEERSING

Het gerucht ging dat de karakteristieke kolommen rondom het gebouw (figuur 6) niet dragend zouden zijn. Maar wie goed kijkt ziet nokken: ze zijn wel degelijk dragend. Tot en met de vijfde verdieping worden de vloeren van het gebouw mede door deze kolommen gedragen.

Er moest terdege rekening worden gehouden met de windbelasting. Den Haag ligt niet ver van de kust, dus het kan er stevig waaien. Dat betekent dat ook hier weer speciale details zijn gemaakt voor de aansluiting met de binnenwanden. Deze kunnen de speling opvangen, terwijl ze óók geluiddicht en branddicht zijn. Vernuftige schuifconstructies zorgen hiervoor. De gesloten delen van de gevels van Amare bestaan uit een dubbele, volledig ontkoppelde houtskeletbouwconstructie, ook om het gewicht laag te houden. Daarop is een dik pakket aan buitenisolatie aangebracht en aan de binnenzijde een superdampdichte laag, om vochtproblemen te voorkomen. Ook de gevelkozijnen zijn dubbel uitgevoerd.

De historische geluidsbandencollectie van het Instituut voor Sonologie is in Amare ondergebracht in een speciale



6

Amare is rondom voorzien van karakteristieke kolommen

ruimte. Hier is de klimaatbeheersing nauwkeurig instelbaar. Deze banden zijn namelijk erg gevoelig voor vocht, warmte en licht.

**DUURZAAMHEID**

Contractueel moest worden voldaan aan BREEAM Excellent en daarom zijn verschillende maatregelen genomen. Het isolatiepakket van de gebouwmhullingen is stevig: een  $R_c$  van  $10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ . In de gevels is hierbij de thermische kwaliteit gecombineerd met de akoestisch noodzakelijke opbouw (scheidingen binnen-buiten en beperken flankerende geluidoverdracht). Op het dak ligt  $4.000 \text{ m}^2$  aan PV-panelen (figuur 7).

Dat de verlichting LED is, zal niemand verbazen. Maar er is ook gedacht aan manieren om daglicht via dakramen boven trappenhuisen het gebouw in te leiden (figuur 8). Enkele vides in de bovenste verdiepingen zorgen voor daglicht in de studio's. Ook zijn daar groene daken aangebracht, met vogel- en vleermuisenkasten. Het is te hopen dat de natuur hier kan aansluiten op vergelijkbare initiatieven in de omgeving, want hartje Den Haag is nog behoorlijk versteend.

Andere maatregelen zijn warmte- en koudeopslag, lucht-warmteterugwinning, waterloze urinoirs en een grijs watersysteem voor de overige toiletten.

**6600 MENSEN**

De bezetting kan flink variëren. Veel dans- en muziekstudenten oefenen 's avonds in Amare, omdat het niet makkelijk is een studentenkamer te vinden waar voldoende ruimte is om te dansen of voldoende geluidwering om te musiceren. Als dan ook nog eens alle zalen bezet zijn, kunnen er 6600 mensen aanwezig zijn. Dat betekent nogal wat voor de vluchtwegen. Er zijn flink wat berekeningen uitgevoerd om via de zes trappenhuisen een veilige uitweg naar buiten te garanderen. Op de eerste verdieping is tevens een omgang die op de omliggende bebouwing gaat aansluiten.

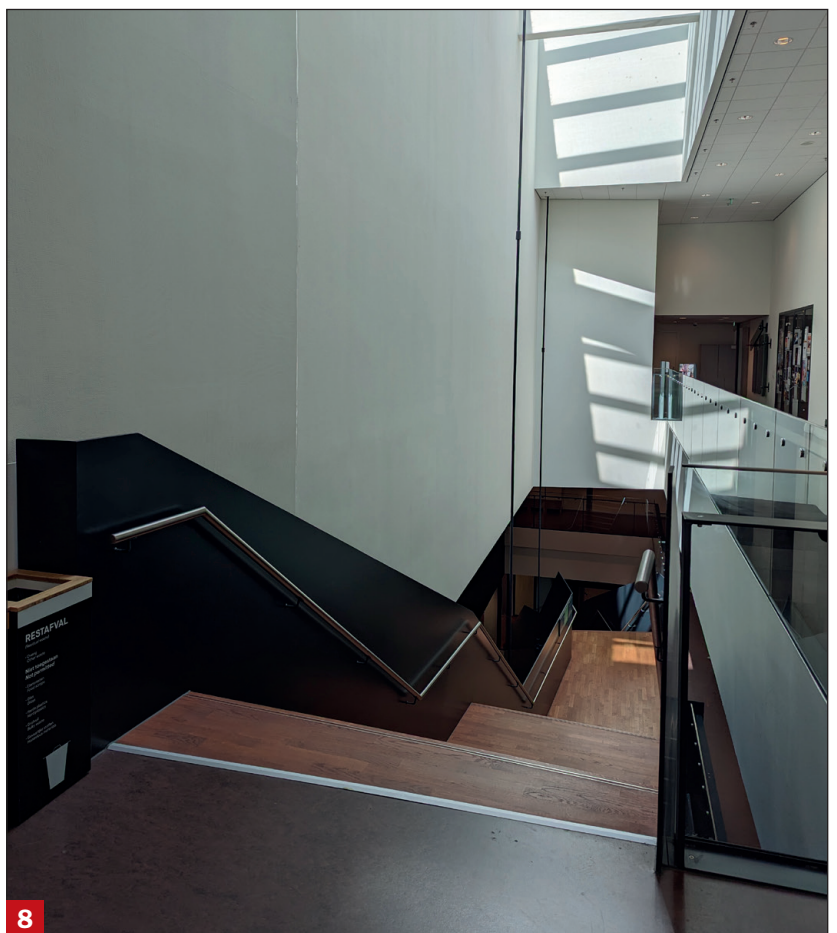
Het hele gebouw is voorzien van sprinklers. De sprinklerleidingen zijn bij de overgang tussen de zalen en het vaste deel van het gebouw als een soort spiraal gebogen, ten behoeve van de akoestische ont koppeling. Dat is een oplossing die ook bij aardbevingsgevoelige gebouwen wordt gebruikt.

Wat al die mensen ook met zich meebrengen: ze praten. Daarom zijn ook in de gangen geluidwerende maatregelen genomen. Sommige wanden lijken van hout. Ben je dichterbij dan lijkt het kunststof, ben je nog dichterbij (met je neus tegen de wand) dan pas zie je dat er duizenden kleine gaatjes in zitten om het geluid te absorberen. Het zijn micro geperforeerde panelen. Ook de plafonds zijn op veel plekken geluidsabsorberend uitgevoerd.

Het is geen bouwfysica, maar wel een leuk weetje: Uitgezocht is hoe lang het duurt als iemand in de pauze naar het toilet gaat. De heren zijn in 20 seconden klaar, de dames hebben 45 seconden nodig. En daarom zijn er veel meer toiletten voor dames dan voor heren. Wég is de file in de pauze. Zelfs dit is vooraf via simulaties uitgetest.



7 Het dak ligt vol met PV-panelen



8 Op strategische plaatsen zijn daklichten aangebracht

**HET GEBOUW ZINGT**

We mogen rustig stellen dat Amare een zeer zorgvuldig ontworpen gebouw is en het uiterste heeft gevraagd van de aannemer en zijn adviseurs en onderaannemers, en van hun onderlinge samenwerking. De bouwfysica, en met name het geluid, is op veel plaatsen leidend geweest voor het ontwerp. Een van mijn docenten zei vroeger als een ontwerp goed in elkaar zat, als er een eenheid in vormgeving en in de details zat, dat het gebouw dan begint te zingen. In Amare wordt natuurlijk letterlijk gezongen, maar ik denk dat we het ook van het gebouw kunnen zeggen: het zingt! ■

# GELUIDISOLATIEPRESTATIES PREFAB-HOUTEN MODULES VOOR WONINGBOUW

## GELUIDMETINGEN HOUTKERN-MODULES (CIRCLEWOOD)

**Hout als constructiemateriaal wordt steeds populairder vanwege de duurzaamheid en gewicht in vergelijking met staal en beton in de bouw. Prefabricage van houten modules verbetert de bouwefficiëntie en veiligheid, verhoogt de bouwsnelheid en geeft milieuvordelen, waarbij hoogbouw steeds meer financieel haalbaar wordt. Om deze redenen worden houten prefab modules beschouwd als een mogelijke duurzame oplossing voor de vraag naar woningen in Nederland. Om te worden toegepast in woongebouwen moeten modulaire houten constructies echter voldoen aan de eisen die worden gesteld in het Bouwbesluit (2012), waaronder die met betrekking tot de lucht- en contactgeluidisolatie.**



dr. G. (Giacomo) Vairetti,  
ABT BV, Delft

In dit artikel bespreken we de resultaten van twee akoestische meetcampagnes gericht op het evalueren van de geluidisolatieprestaties van zo'n houten prefab module: houtkern-module van Circlewood. De eerste metingen werden uitgevoerd in 2021 voor de houtkern-modules die ontwikkeld zijn voor het Energie Hotel in Ede.



A.A. (Alfons) Hartman,  
abtWassenaar B.V.,  
Groningen

Vervolgens zijn in 2023 in samenwerking met TNO opnieuw geluidmetingen uitgevoerd, om de gemaakte keuzes in vloer- en wandconstructies nader te beoordelen en te toetsen aan de geldende eisen uit het Bouwbesluit (2012).

### INLEIDING

Hout als constructiemateriaal is de laatste jaren steeds populairder geworden, zowel voor woningen als voor utiliteitsbouw [1]. Hout is een duurzaam bouw materiaal, lichter dan beton, wat de productie, het transport en de constructie vergemakkelijkt. De mogelijkheid om modules te prefabriceren is de sleutel om de bouw van woningen en utiliteitsgebouwen te versnellen, door meer efficiëntie in het bouwproces. Belangrijke aspecten zijn het gemak en de snelheid van montage ter plaatse, de

mogelijkheid om de modules te demonteren en opnieuw te gebruiken of te recyclen en de vermindering van emissie in het milieu [2, 3, 4]. Hierbij wordt zowel gebruikgemaakt van CLT (Cross Laminated Timber), als van andere producten zoals LVL (laminated veneer lumber) of HSB (Houtskeletbouw). Het gebruik van prefab houten modules wordt ook gezien als een duurzame en kosteneffectieve benadering van de toenemende vraag naar woningen [2, 3, 4]. De Nederlandse overheid heeft als doel om tussen nu en 2030 900.000 nieuwe woningen te realiseren [5]. Daarnaast moet de CO<sub>2</sub>-uitstoot in hetzelfde jaar met 49% verminderd zijn [6]. De houtkern-modules van Circlewood kunnen daarbij een belangrijke rol spelen. Het uitgangspunt daarbij is dat de houtkern-modules onder andere voldoen aan de eisen voor de lucht- en contactgeluidisolatie uit het Bouwbesluit (2012, Afdeling 3.4. Vanaf 2024 Besluit Bouwwerken Leefomgeving, paragraaf 4.3.4). Daarbij is prefabricage een voordeel, omdat variaties in onder andere het te verwachten akoestisch comfort aanzienlijk consistentere kunnen zijn in vergelijking met productie ter plaatse. Mede omdat prefabricage wordt uitgevoerd in een gecontroleerde omgeving [7].



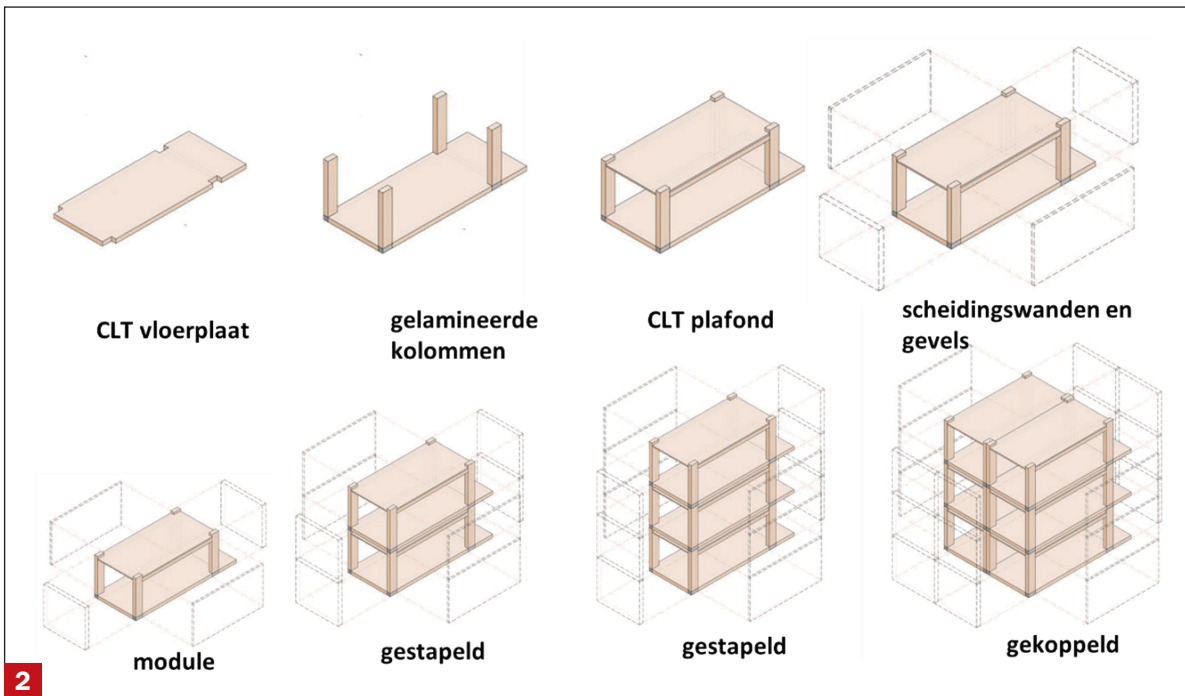
ir. R. (Rudi) Roijackers,  
Lüning b.v. / Quake innovation b.v., Velp



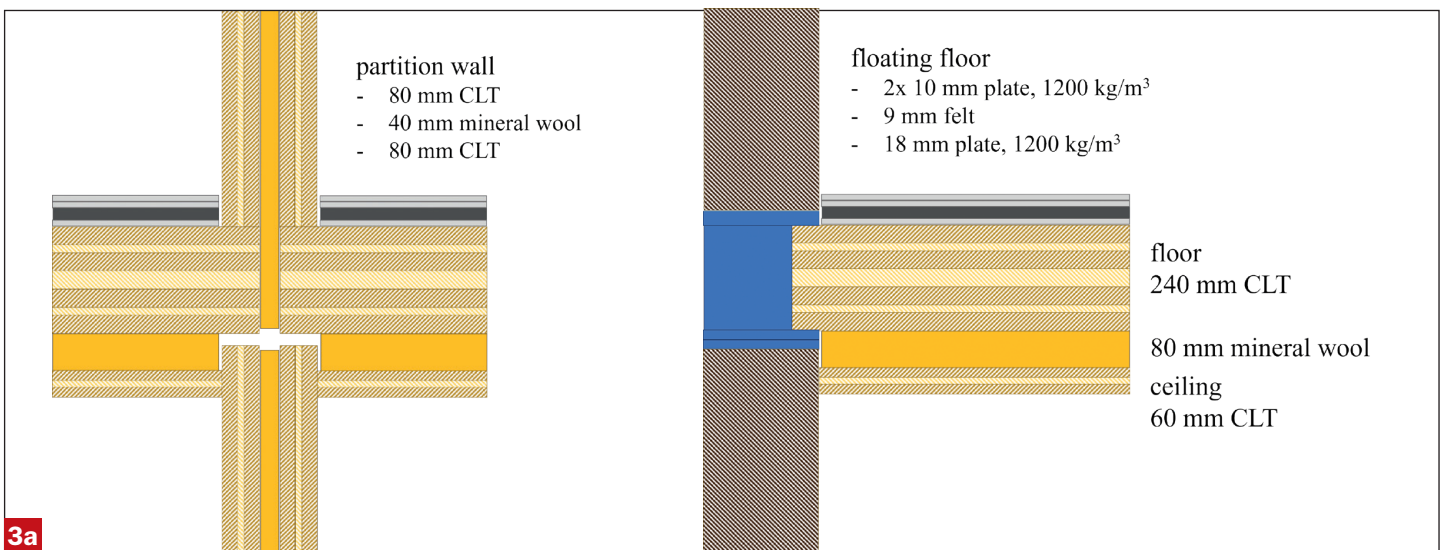
1



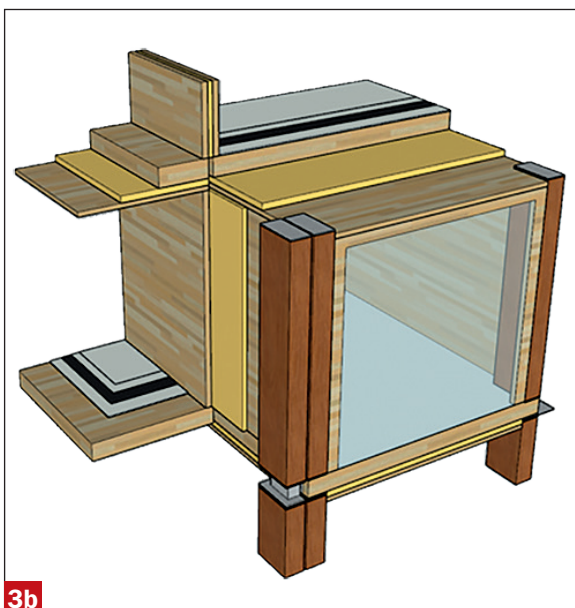
Houtkern-modules (Circlewood) in verticale (links) en horizontale opstelling (rechts) - 1<sup>e</sup> geluidmetingen (2021)



Schematische weergave opbouw modules



Schematische weergaven van de vloer-, plafond en wandopbouw



3D-weergave van de CLT-module

Zowel in de woningbouw als in de utiliteitsbouw worden al prefab houten modules toegepast. De komende jaren zullen steeds meer hoogbouw gebouwen hun intrede doen. Eén daarvan is het Energie Hotel, een 15 verdiepingen hoog energiezuinig en circulair gebouw dat wordt ontwikkeld in Ede, langs de A12, bestaande uit prefab CLT-modules die zijn gemonteerd rond een stalen centrale kern.

In basis bestaat elke houtkern-module uit een CLT-vloerplaat met daarin stalen schoenen en daarop gelamineerde houten kolommen. Vervolgens wordt op de kolommen een CLT-plafondplaat aangebracht. Hierdoor ontstaat een volledig dragende constructie wanneer de modules op elkaar worden gestapeld. In verticale richting worden de modules met elkaar verbonden door de stalen schoenen. In horizontale richting zorgt een aanvullende koppelplaat voor de verbinding. Dit systeem creëert een dubbele scheidingsconstructie waarbij, zowel in horizontale richting (wand-wand) als in verticale richting (vloer-plafond)

Tabel 1: Gemeten lucht- en contactgeluidisolatie (verticaal en horizontaal)

Sit.	Beschrijving	$D_{nT:A;k}$ [dB] eis Bouwbesluit	$D_{nT:A;k}$ [dB] gemeten	$L_{nT:A}$ [dB] eis Bouwbesluit	$L_{nT:A}$ [dB] gemeten
1	Houtkern-modules verticaal	$\geq 52$	49	$\leq 54$	54
2	Houtkern-modules horizontaal	$\geq 52$	42	$\leq 54$	55

de stalen verbinding de enige akoestische koppeling vormt. In figuur 2 is een schematische weergave van de opbouw van de modules weergegeven.

De uitgebreide lucht- en contactgeluidisolatiemetingen, volgens NEN 5077:2019, waren uitgevoerd om te beoordelen wat het te verwachten akoestisch comfort was, uitgaande van een hotelfunctie. De metingen waren ook uitgevoerd om te beoordelen welke mogelijk aanvullende maatregelen aan de vloer, plafond, scheidingswanden en isolatiemateriaal nodig waren om de modules geschikt te maken als woonfunctie.

De recente metingen in 2023 zijn uitgevoerd, om de gemaakte keuzes in vloer- en wandconstructies verder in detail akoestisch te beoordelen.

#### BESCHRIJVING VAN DE MEETOPSTELLING (2021)

De geluidisolatiemetingen zijn in 2021 uitgevoerd in de fabrieksfaciliteiten van Heko Spanten B.V. in Ede in samenwerking met de Noordereng Groep. Voor de test zijn twee prototype CLT-modules gebruikt. De modules bestonden uit 240 mm CLT-vloer, met daarop 18 mm Fermacell, 9 mm vilt en 2x 10 mm Fermacell, een plafond van 60 mm CLT, waarbij tussen vloer en plafond 80 mm minerale wol is aangebracht. De kolommen op de stalen knopen hadden een afmeting van 260 x 500 mm. De gevel bestond uit een 90 mm houten kozijn met gelaagd glas 6/6/1 mm. De kozijnen waren onafhankelijk bevestigd aan de houten kolommen. De niet dragende binnenwanden bestonden uit 80 mm CLT-elementen op een spouw van 40 mm. De spouw is gevuld met 30 mm minerale wol. Alle zichtbare naden bij de aansluitingen tussen de wanden en de overige bouwelementen waren lucht- en kierdicht uitgevoerd. In figuur 3a is de opbouw schema-

tisch weergegeven. Een 3D-weergave van de module wordt getoond in figuur 3b.

De twee houtkern-modules zijn zowel verticaal als horizontaal getest, zoals weergegeven in figuur 1. In figuur 4 is een detail weergegeven van de stalen schoen en de stalen verbindingssplaten. Deze platen verbinden de houtkern-modules in horizontale richting voor stabiliteit.

#### MEETRESULTATEN (2021)

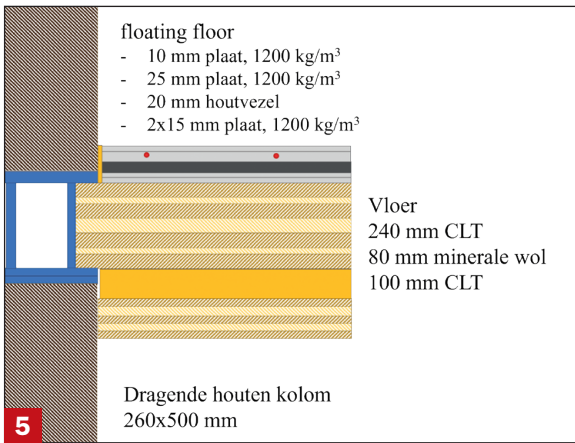
De metingen zijn uitgevoerd in tertsbanden in overeenstemming met NEN 5077:2019. De resultaten van de metingen zijn getoetst aan de geluideisen uit het Bouwbesluit (2012). De luchtgeluidisolatie (karakteristiek luchtgeluidniveauverschil  $D_{nT:A;k}$ ) is beoordeeld voor het standaardbereik 100 Hz – 3,15 kHz. Voor de contactgeluidisolatie (gewogen contactgeluidniveau  $L_{nT:A}$ ) zijn de waarden ook beoordeeld voor het standaardbereik 100 Hz – 3,15 kHz. In tabel 1 zijn de belangrijkste meetresultaten van de metingen weergegeven.

Uit de metingen volgt dat de houtkern-modules al een redelijke goede lucht- en contactgeluidisolatie hebben, maar dat de waarden, met name de luchtgeluidisolatie nog niet aansluiten bij de eisen uit het Bouwbesluit (2012).

De lage waarde van de luchtgeluidisolatie wordt mede veroorzaakt door de lichte opbouw van de scheidingswanden. Uit geluid- en trillingsmetingen bleek een relatieve lage bijdrage van flankerend geluid van de stalen schoenen en kolommen, zowel in horizontale als in verticale richting, mede veroorzaakt door het gewicht van de stalen schoen en houten kolom. Uit de metingen volgde ook, dat het vervangen van het vilt als verende laag door



Detail stalen schoen met daarop de houten kolom en verbindingssplaat



Schematische weergave van de vloeropbouw

minerale wol een verdere verbetering van de contactgeluidisolatie opleverde.

De houtkern-modules uit deze eerste test kunnen al wel worden toegepast in tijdelijke woningbouw. Voor tijdelijke woningbouw (maximaal 15 jaar) zijn de geluideisen minder streng (-10 dB lager). Naar verwachting zal de geluidisolatie in met name de horizontale richting verder verbeteren omdat onder andere wanden worden voorzien van extra beplating vanwege eisen voor brandveiligheid. Maar we zijn verdergegaan in de ontwikkeling, om te komen tot een goede oplossing voor reguliere woningbouw.

**VERDERE ONTWIKKELING**

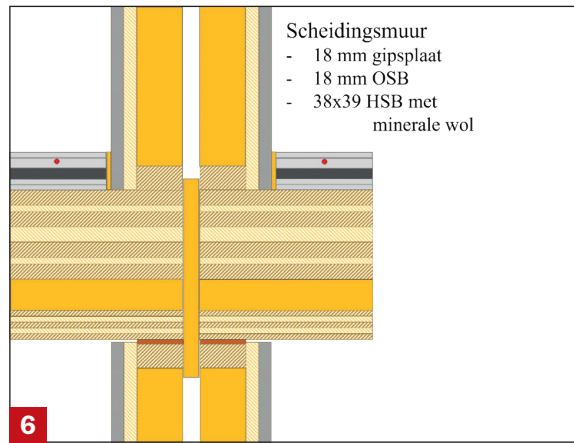
Zoals al eerder aangegeven, was een verdere ontwikkeling van de houtkernmodules gewenst om deze te laten voldoen aan de lucht- en contactgeluideisen uit het Bouwbesluit. Bij de verdere ontwikkeling is ook gekeken hoe, met name ten aanzien van contactgeluid, de geluidisolatie in de lage frequenties kon worden verbeterd.

Dit heeft geresulteerd in een aantal verbeteringen. De modules bestaan nog steeds uit een 240 mm CLT-vloer, maar nu met daarop 30 mm Fermacell, 20 mm houtvezelplaat als verende laag in combinatie met 30 mm cellenbetonkorrels. Verder een plafond van 80 mm CLT, waarbij tussen vloer en plafond 80 mm minerale wol is aangebracht, zie onderstaand figuur 5. Voor de niet-dragende binnenwanden hebben we twee varianten beoordeeld:

- 100 mm CLT-elementen op een spouw van 80 mm. De spouw is gevuld met 80 mm minerale wol.
- HSB-elementen van 90 mm dik, waarbij tussen de stijlen 100 mm minerale wol is aangebracht. De wanden zijn



Impressie van de meetopstelling (wanden CLT)



Schematische weergave van de opbouw van de scheidingswanden

afgewerkt met 18 mm OSB en 18 mm Fermacell. De spouw tussen de HSB-elementen is ca. 20-30 mm. In figuur 6 is een schematische opbouw weergegeven.

**BESCHRIJVING VAN DE MEETOPSTELLING (2023)**

De meetopstelling bestond uit twee gestapelde appartementen. In praktijkuitvoering bestaan appartementen uit twee modules. In de meetopstelling zijn deze twee modules uit elkaar gehaald en ruggelings tegen elkaar gezet zodat in horizontale richting de juiste wandconfiguratie kon worden gemeten. De vloer- en wandconstructies waren uitgevoerd zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. De wanden van de modules op de begane grond zijn uitgevoerd in CLT. Op de verdieping zijn de wanden uitgevoerd in HSB. De andere zijden van de modules zijn dichtgezet met beplating. Voor de meetopstelling bestonden de gevels van de modules uit 90 mm houten kozijnen met gelaagd glas 6/6/1. In onderstaande afbeeldingen is een impressie gegeven van de meetopstelling.

**MEETRESULTATEN (2023)**

De geluidmetingen voor de nieuwe configuraties zijn uitgevoerd in samenwerking met TNO en de Noordereng Groep. Ook nu mochten we gebruik maken van de fabrieksfaciliteiten van Heko Spanten B.V. in Ede.

De metingen zijn uitgevoerd zoals eerder omschreven in hoofdstuk 3. De resultaten van de metingen zijn getoetst aan de geluideisen uit het Bouwbesluit (2012). De luchtgeluidisolatie (karakteristiek luchtgeluidniveauverschil  $D_{nT,A,k}$ ) zijn beoordeeld voor het standaardbereik 100 Hz – 3,15 kHz. Voor de contactgeluidisolatie (gewogen contactgeluidniveau  $L_{nT,A}$ ) zijn de waarden beoordeeld voor het bereik 100 Hz – 3,15 kHz en voor 50 Hz – 31,5 kHz. De



Impressie van de meetopstelling (wanden HSB)



Impressie van de meetopstelling (wanden HSB)



Impressie van de stalen schoenen

Tabel 2: Gemeten lucht- en contactgeluidisolatie (verticaal en horizontaal)

Sit.	Beschrijving	$D_{ntA;k}$ [dB] eis Bouwbesluit	$D_{ntA;k}$ [dB] gemeten	$L_{ntA}$ [dB] eis Bouwbesluit	$L_{ntA}$ [dB] gemeten
1	Houtkern-modules verticaal	$\geq 52$	53	$\leq 54$	46 (4)
2	Houtkern-modules horizontaal (CLT)	$\geq 52$	55	$\leq 54$	37 (5)
3	Houtkern-modules horizontaal (HSB)	$\geq 52$	52	$\leq 54$	37 (5)

correctieterm is tussen haakje weergegeven. In tabel 2 zijn de belangrijkste meetresultaten van de metingen weergegeven.

Uit de metingen volgt dat de houtkern-modules voldoen aan lucht- en contactgeluidisolatie-eisen uit het Bouwbesluit (2012). Ook de contactgeluidisolatie, rekening houdend met de lagere frequenties, is goed.

De lucht- en contactgeluidisolatiewaarden zullen naar verwachting in de praktijk nog beter uitpakken, omdat tijdens de metingen omloopgeluid via de buitenzijde van de units aanwezig was als gevolg van de lichte beplating van de omhulling. Ook naden en kieren speelden een rol. Ook nu volgde uit geluid- en trillingsmetingen een relatieve lage bijdrage van flankerend geluid in zowel horizontale als verticale richting van de stalen schoenen en kolommen.

Tijdens de metingen en verplaatsingen van de modules is ook waardevolle informatie verkregen ten aanzien van bijvoorbeeld naden en kieren, alsmede aanwezige aansluitingen van wanden op kolommen en aansluitingen van kozijnen. Waardoor de prefabricage van de units nog verder kan worden geoptimaliseerd. Zo is nu gekozen om de wanden uit te voeren met een aanslag, waardoor een goede lucht- en kierdichte aansluiting wordt gerealiseerd tussen wanden, vloer en plafond die ook goed standhoudt bij het verplaatsen van de units.

## CONCLUSIES

De prefab houtkern-modules (Circlewood) hebben zich de afgelopen jaren ontwikkeld van een prefab module voor een hotel tot een volwaardige unit geschikt voor zowel woningbouw als utiliteitsbouw. De units kunnen voldoen aan de geluidisolatie-eisen uit het Bouwbesluit en hebben ook ten aanzien van de contactgeluidisolatie in de lagere frequenties een goede geluidisolatie. Inmiddels zijn er verschillende projecten in behandeling, waaronder woningbouw, waarin de houtkern-modules zullen worden toegepast. De units kunnen in verschillende configuraties worden toegepast. De beperkte koppeling van de units zorgt binnen alle configuraties voor een goede geluidiso-

latie. Het toepassen van de prefab houtkern-module is daarom een duurzame en kosteneffectieve oplossing [2, 3, 4] voor de grote vraag naar woningen.

## Dankbetuigingen

De auteurs danken Heko Spanten B.V. (Ede, Nederland) voor het maken van de houtkern-modules en voor de assistentie tijdens de meetcampagne, Noordereng Groep voor de ondersteuning en TNO ten tijde van de uitvoering van de metingen in 2023 en alle andere partners in de ontwikkeling: DWA, Ferros, Lomas, Hedgehog, BBN, Quake en Lüning. ■

## BRONNEN

- ▶ [1] A. Di Bella and M. Mitrovic, "Acoustic characteristics of cross-laminated timber systems," *Sustainability* 12.14, p. 5612, 2020
- ▶ [2] S. Lehmann, "Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 6, pp. 57-67, 2013
- ▶ [3] W. Ferdous, Y. Bai, T. D. Ngo, A. Manalo and P. Mendis, "New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings—A state-of-the-art review," *Engineering Structures* 183, pp. 883-893, 2019
- ▶ [4] A. Dodoo, L. Gustavsson and S. Roger, "Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems," *Energy and Buildings* 82, pp. 194-210, 2014
- ▶ [5] Rijksoverheid, "Staat van de woningmarkt 2020," 15 06 2020. [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/06/15/staat-van-de-woningmarkt-2020>
- ▶ [6] Rijksoverheid, "Kabinet kiest voor verantwoorde inzet biograndstoffen," 16 10 2020. [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/10/16/kabinet-kiest-voor-verantwoorde-inzet-biograndstoffen>
- ▶ [7] R. Öqvist, F. Ljunggren and A. Ågren, "On the uncertainty of building acoustic measurements—Case study of a cross-laminated timber construction," *Applied Acoustics* 73.9, pp. 904-912, 2012

# “GEZONDHEID ONDERBELICHT THEMA BIJ HOUTBOUW”

## PODCAST OVER HOUTBOUW

Houtbouw en de consequenties daarvan zijn een actueel thema. Adviseurs krijgen regelmatig vragen over gebruik van hout en biobased materialen. Dit was de aanleiding om deze vragen te behandelen in de DGMR-podcastserie over duurzaamheid en gezondheid. Daarbij gingen Patrick Schreven (ECO+BOUW) en Jean Frantzen (DGMR) met elkaar in gesprek. Niet diepgaand, maar gericht op het breder bekendmaken van de (on)mogelijkheden van houtbouw. Deze column is daarvan een weerslag.

**G**egrepen worden door de effecten van hout. Dat overkwam zowel ‘groene bouwer’ Patrick Schreven van ECO + BOUW als Jean Frantzen, duurzaamheidsadviseur bij DGMR. Waarom neemt de belangstelling voor bouwen met hout toe? Welke ontwikkelingen zien ze? En wat zijn de mogelijkheden als opdrachtgevers voor houtbouw kiezen?

Meer en meer staat bouwen met hout in de belangstelling. De klimaatop in Parijs droeg daaraan bij. Ook de uitzending ‘Houtbouwers’ door het programma Tegenlicht liet de acceptatie toenemen. Een duurzame, biobased manier van bouwen is niet alleen een must. Het comfort van een houten woning is zoveel beter. Mensen die in een houten huis wonen, weten dat allang, stellen experts en ervaringsdeskundigen Frantzen en Schreven.

“We voelen ons prettiger als we in de natuur zijn. Worden we door natuurlijke materialen omgeven, dan heeft dat ook een positief effect op ons. Wonen in een houten huis geeft niet alleen een fijn binnenklimaat. Dat het de gezondheid bevordert, is nog relatief onbekend. Bewoners met astma, COPD of allergieën hebben bijvoorbeeld minder last”, aldus Schreven. Ook opmerkelijk: mensen die in een massief houten huis wonen, hebben één hartslag minder per minuut ‘s nachts. Ze hebben dus meer rust, zo blijkt uit Oostenrijks onderzoek. Ook voor kinderen zou gelden dat ze in een houten school betere leerprestaties laten zien.

## KENNIS BUNDELEN

Aandacht voor het klimaat is natuurlijk ook een belangrijk argument om biobased te bouwen. Frantzen: “Andere manieren dan biobased bouwen stoten CO<sub>2</sub> uit. Houtbouw slaat een aanzienlijke hoeveelheid CO<sub>2</sub> op. De woningen die ECO + BOUW in Helmond bouwde, sloegen netto 3.000 kilo CO<sub>2</sub> per woning op. Dat is na aftrek van de uitstoot die bijvoorbeeld de heenenweer rijdende vrachtwagen veroorzaakten.”

Helaas is dit niet altijd terug te zien in de MPG-scores van biobased materialen. Domweg omdat ze niet als MPG-profiel in de database terug te vinden zijn. “Het zijn vaak kleinere bedrijven die met nieuwe producten experimenteren. Ze hebben vaak niet het geld om de gevraagde profielen op te stellen, waardoor ze een hogere score krijgen dan niet-duurzame materialen die

wel bekend zijn. Het is zaak dat leveranciers van biobased materialen en houtbouwers ook hun kennis bundelen”, betoogt Frantzen.

Schreven pleit al langer voor meer kennis over houtbouw. Allereerst bij de opleidingen. “Hoe stel je een houtskeletbouwwand samen? Hoe werkt de luchtdichting bij houtskeletbouw? Het wordt steeds belangrijker om hiervan kennis te hebben. Net als van het gebruik van natuurlijke isolatiematerialen als houtvezel, vlas en kurk. Daarom ben ik initiatiefnemer van het kenniscentrum Circulair bouwen. We verzamelen kennis, ontwikkelen nieuwe kennis én delen kennis via workshops en bijvoorbeeld lespakketten.”

## VERDUURZAMINGSTECHNIKEN

Houtbouw moet volgens beide experts dezelfde ontwikkeling doormaken als bouwen met beton. Het moet beter, slimmer en prijstechnisch interessanter. Met steeds nieuwe oplossingen die houtskeletbouw en CLT-bouw, maar ook bouwen met stro en kalkhennep verder brengen. En ook aandacht hebben voor circulariteit; het demonteren en opnieuw gebruiken van materialen. Gelukkig staan de ontwikkelingen niet stil.

Schreven: “Hout heeft nog zoveel meer potentie dan nu. Er zijn experimenten die hout op zo’n manier behandelen dat het net zo sterk als staal wordt. En in Nederland is loofhout ook een optie bij CLT-bouw. Het hout is minder buigzaam en kan meer druksterkte aan. En er zijn allerlei verduurzamingstechnieken die uitgetoet worden. Zoals thermisch verduurzamen van populierenhout, zodat het voor gevels geschikt is. Denk ook aan impregneren van hout met natuurlijk azijn, koken, bakken.” Jean vult aan: “Of hout met een biofinish, waarbij schimmels zich aan het hout hechten en zo bescherming bieden en een matzwarte kleur geven.”

## GEÏNTEGREERDE OPLOSSINGEN

Van Schreven en Frantzen mogen best vragen gesteld worden over bouwen met hout. Is er genoeg hout? Hoe lang gaat hout mee? Is het wel brandveilig? Is het niet gehorig? Wat kost het? Maar ze moeten niet als excuus dienen, want ze zijn oplosbaar. Voor ingenieurs en bouwers kunnen het soms lastige puzzels zijn, maar er komen steeds meer goede voorbeelden bij. Frantzen noemt het Biosintrum, waarin vanuit de opdrachtgever ruimte was om te experimenteren. En ook Schreven doet steeds meer ervaring op.

De keuze voor houtbouw moet in een vroeg stadium van een ontwikkeling genomen worden, adviseert Frantzen. “Begin ermee, zodat de voordelen van hout maximaal benut kunnen worden. En er is ruimte voor geïntegreerde oplossingen, omdat thema’s als duurzaamheid, energie, veiligheid elkaar beïnvloeden. Besluit je later in een ontwikkelproces over te stappen naar houtbouw, dan moet je eigenlijk opnieuw beginnen. En vergeet niet: elk materiaal heeft plus- en minpunten. Combineer ze op plekken waar ze het beste tot hun recht komen.” ■



Jean Frantzen,  
DGMR, Drachten

# CONSTRUCTION LEVEL MEASUREMENTS IN CLT-BUILDINGS FOR VALIDATION OF PREDICTION MODELS FOR AIRBORNE- AND IMPACT SOUND INSULATION

The prediction of flanking transmission of solid wood elements in CLT buildings is a major subject of several studies and papers. Important parameters in prediction models are the vibration reduction index ( $K_{ij}$ ) and the sound reduction index ( $R_i, R_j$ ) of the elements involved, related to the resonant transmission only. Because laboratory values of direct sound reduction  $R$  involve forced transmission as well, ISO 12354-1:2017 proposes a correction value for this difference (annex B2). Peutz Consultants has implemented these prediction tools to predict the sound insulation in CLT buildings in the design phase and uses delivery measurements to validate the predictions. In this validation process in situ construction level measurements are an important tool. Determining the partial insulations from the construction levels measured with an accelerometer on several radiating surfaces in the receiving room due to the sound source in the source room gives a valuable indication of the priority between the different partial sound insulations and are also useful to validate prediction calculations of the sound insulation and their input data. This method gives useful information to improve the accuracy of the predictions in the design phase and to consult on the most efficient provisions needed for a certain sound insulation demand. Several examples for airborne sound reduction and lessons learned will be treated.



Maarten P.M.  
Luykx MSc, Peutz

## INTRODUCTION

In the consulting practice on wooden CLT-buildings reliable prediction models for sound insulation are a key factor. The present ISO 12354 [1] standard gives SEA-based prediction tools and distinguishes between a detailed, frequency dependent model and a simplified model working with single values as input data. In our engineering work on air borne noise insulation the simplified model has proven to be the most practical one so far. The accuracy of the prediction calculations depends on reliable input data, such as values for the vibration reduction index ( $K_{ij}$ ) for different junction types and values for the flanking sound reduction index ( $R_i, R_j$ ) of the elements involved, related to the resonant transmission only.

In the present ISO 12354-1 [1] the amount of input data for the vibration reduction index  $K_{ij}$  for different CLT-junctions is still rather limited. In 2019 an expanded collection of input and planning data for CLT-junctions regarding  $K_{ij}$ -values and their frequency dependence has become available [2]. This data is based on an overall analysis of measured  $K_{ij}$ -values by different institutes in different CLT-mock-up settings, using structure born excitation as well as the indirect method (flanking sound reduction) according to ISO 10848 [3].

This expanded set of input data regarding  $K_{ij}$ -values for CLT-junctions is a valuable addition to the data already present in ISO 12354-1, because it covers a wider range of different CLT-junction types and therefore can give a better prediction and a better agreement with measurement results for certain situations. For wooden buildings with a

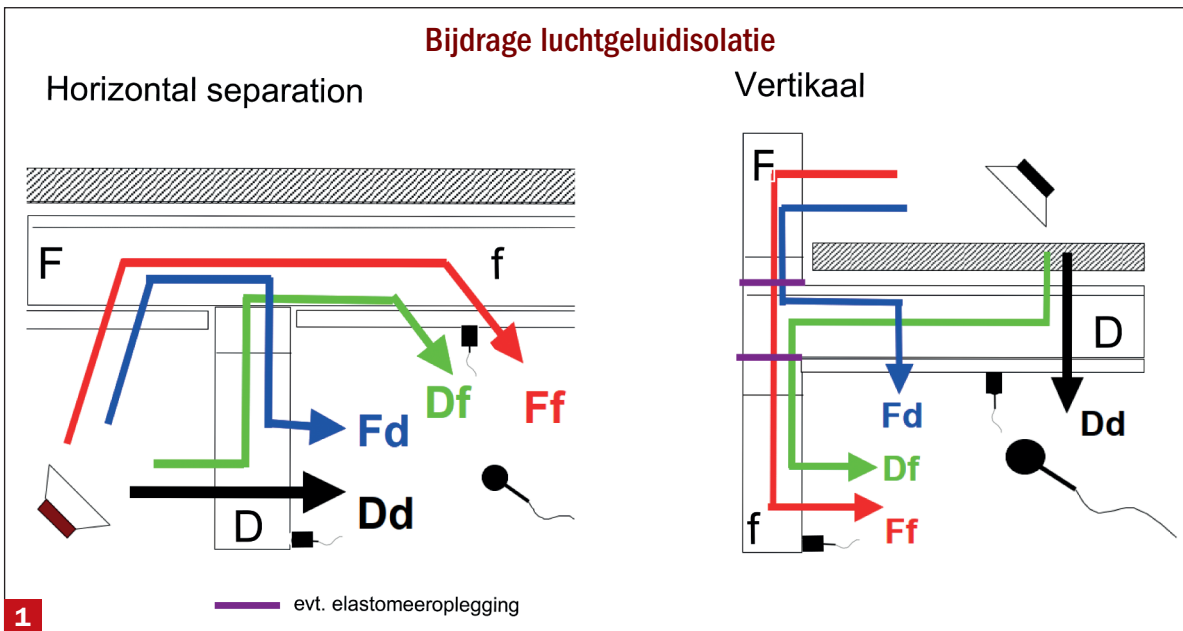
so-called post & beam construction however there still is a lack of available input data for (direct and flanking) sound reduction calculations, such as  $K_{ij}$ -values for different junction types and values for the direct and flanking sound reduction index ( $R_d, R_i, R_j$ ) of columns and beams.

## PARTIAL SOUND REDUCTION

### *Determination of partial sound reduction by construction level measurements*

In addition to standard sound level measurements needed to determine the airborne sound reduction index  $R'_{w}$  between adjoining rooms, construction level measurements can be performed. With this method partial sound reduction values for each surface are determined from the construction levels - measured by an accelerometer on several radiating surfaces in the receiving room - due to a sound source in the sending room. Based on these individual partial sound reduction values of the different surfaces the priority between the contributions of different (flanking) surfaces to the overall sound reduction can be determined, which can be valuable to advice on future improvements. Additionally, each individual partial sound reduction measured can be used to validate prediction calculations and related input data - such as used by the simplified model - for the sound reduction contribution of individual flanking paths. Several examples hereof will be discussed in chapter 3.

Figure 1 shows in a schematic way the different contributions to the airborne sound transmission between horizontally adjoining rooms, both the direct path ( $D_d$ ) as three relevant flanking paths ( $F_f, F_d$  and  $D_f$ ). In this case



Schematic representation of contributions to airborne sound insulation in wooden buildings. Direct sound transmission path (Dd) and three flanking paths (Ff, Fd, Df) for one of four junctions (ceiling, floor, wall, façade) between horizontally adjoining rooms

the junction of the separation wall with the ceiling is given, but in total there are usually four flanking elements (ceiling, floor, façade and inner wall) so four different junctions. For airborne sound transmission each junction covers three flanking sound transmission paths (Ff, Fd and Df), as can be seen in figure 1, and therefore 12 flanking transmission paths and one direct transmission path can be distinguished, so 13 paths in total.

Figure 1 also illustrates that if construction level measurements are performed to determine the partial insulation of each surface, using an accelerometer on each surface in the receiving room, only two flanking paths (Ff, Df) will contribute to the sound radiation of the flanking element. The third flanking path (Fd) will contribute to the sound radiation of the separation wall and therefore reduces the partial sound reduction of the separation wall. In case of four junctions, the partial sound reduction of the direct separation wall consists of five contributing sound reductions ( $R_{ij}$ ): the direct sound reduction ( $R_d$ ) and four flanking sound reductions ( $R_{ceiling,Fd}$ ,  $R_{facade,Fd}$ ,  $R_{floor,Fd}$ ,  $R_{innerwall, Fd}$ ).

**Deduction of target values for partial sound reductions and for flanking paths**

In order to achieve a certain criterium value  $R'_{w,crit}$  for the overall sound reduction index in wooden CLT-buildings, the laboratory value for the air borne sound reduction of the direct separation should preferably be at least 7 dB higher ( $R_{w,s} \geq R'_{w,crit} + 7$  dB) [4]. A similar increment of at least 7 dB above the criterium value should be set for the flanking contribution of each junction ( $\Sigma R_{ij} = R_{Ff} + R_{Df} + R_{Fd} \geq R'_{w,crit} + 7$  dB).

For example, if the demand for the weighted sound reduction index is  $R'_w \geq 52$  dB, the laboratory value of the direct sound reduction of the separation should be at least  $R_{w,s} \geq 59$  dB and the contribution of each of the four flanking elements should also be at least 59 dB. This means that the average sound reduction of each individual flanking sound transmission path ( $R_{ij}$ ) should be at least 64 dB. In

that case the partial sound reduction of each flanking element should be at least  $R'_w \geq 61$  dB and the partial sound reduction of the direct separation wall should be at least  $R'_w \geq 55$  dB (including four flanking contributions of  $R_{ij} = 64$  dB each).

**PROJECT RESULTS**

Recent experience with a multi-storey apartment building (project X) will be treated to illustrate how construction level measurements can be used in the validation process of CLT-buildings. In this building measurements of the air borne sound reduction and the impact sound insulation have been performed. Several measurement results of the horizontal airborne sound reduction between adjoining dwellings will be discussed in this paper. Experiences with the impact sound insulation measurements and their validation will be treated in a separate paper.

In the project the horizontal sound reduction indices measured between living rooms of adjoining apartments on the upper level appeared to be 3 dB lower than the results on the middle level, with yet a fully identical separation wall. Therefore, additional detailed measurements of the partial sound reduction contributions of the direct and flanking elements in the receiving rooms were performed using construction level measurements, to analyse possible reasons for this difference. The resulting partial sound reductions measured are summarised in the 2<sup>nd</sup> column of table 1 (upper level) and table 2 (middle level) and are discussed thereafter.

Additionally, calculations of the flanking sound contributions of individual sound paths have been performed according to the calculation formulas of the simplified model [1], using mostly - unless stated otherwise - input data regarding  $K_{ij}$ - and  $R_i$ -values from [2] and [4]. For specific situations, a comparison with  $K_{ij}$ -values from ISO 12354-1 has been made. The results of these calculations are summarised in the 3<sup>rd</sup> column of the same tables 1

Table 1: Partial horizontal sound reduction index values ( $R'_{w}$  in dB) measured (based on construction level measurements) vs. calculated values (flanking paths calculations) in project X between two adjoining living rooms on upper floorlevel

Surface	Measured $R'_{w}$ (dB)	Calculated $R_{ij}$ (dB)	Diff. (dB)	Description and input data
Roof	52	$R_{Ff} = 46/52$ $R_{Df} = 73$ $\Sigma R = 46/52$	-6/-2/0	140 CLT (66 kg/m <sup>2</sup> , continuous) + insulation (145 mm PIR) + 2 layers of 4 mm bitumen, total mass 79 kg/m <sup>2</sup> ( $R_{f,w}$ =38 or 45).
Floor	64	$R_{Ff} = 81$ $R_{Df} = 85$ $\Sigma R = 79$	+15	70 screed + 40 MW ( $s'=15$ ) + 200 CLT (94 kg/m <sup>2</sup> , dilatated, elastomer top/bottom) ( $R_{Dd,w}$ =57 dB, $R_{s,w}$ =43 dB, $\Delta R_{Dd,w}$ =14 dB)
Façade	57	$R_{Ff} = 49/57$ $R_{Df} = 73$ $\Sigma R = 49/57$	-8/0	100 CLT (47 kg/m <sup>2</sup> , $R_{f,w}$ =35 dB or 43 dB fitting value) + insulation (145 mm PIR) + rooftiles (45 kg/m <sup>2</sup> )
Rear wall	61	-		100 CLT (no direct connection to separation wall)
Side wall	73	-		80 CLT (no direct connection to separation wall)
Separation wall (hxb=2.6x4m)	54	$R_{Dd} = 57$ $R_{roof,Fd} = 53/57$ $R_{facade,Fd} = 54/58$ $R_{floor,Fd} = 72$ $\Sigma R = 50/53$	-4/-1	120 CLT (56 kg/m <sup>2</sup> ) with one sided planking of 2 x 12,5 mm gypsumboard (24 kg/m <sup>2</sup> ) on free standing metal profiles (50 mm with 40 MW) on 10 mm distance ( $R_{Dd,w}$ =57 dB, $R_{s,w}$ =37 dB, $\Delta R_{Dd,w}$ =20 dB)
Summation of partial insulations:	49	$\Sigma R_{ij} = 43/49$	-6/0	
Measured value (apparent sound reduction) $R'_{w}$	47		-4/+2	
Difference	-2			

Table 2: Partial horizontal sound reduction index values ( $R'_{w}$  in dB) measured (construction level measurements) vs. calculated (flanking paths calculations) in project X between two adjoining living rooms on middle floor level

Surface	Measured $R'_{w}$ (dB)	Calculated $R_{ij}$ (dB)	Diff. (dB)	Description and input data
Ceiling	59	$R_{Ff} = 59$ $R_{Df} = 78$ $\Sigma R = 59$	0	200 CLT (94 kg/m <sup>2</sup> ) dilatated, elastomer top/bottom ( $R_{f,w}$ =43 dB)
Floor	63	$R_{Ff} = 81$ $R_{Df} = 85$ $\Sigma R = 79$	+16	70 screed + 40 MW ( $s'=15$ ) + 200 CLT (94 kg/m <sup>2</sup> , dilatated, elastomer top/bottom) ( $R_{Dd,w}$ =57 dB, $R_{s,w}$ =43 dB, $\Delta R_{Dd,w}$ =14 dB)
Façade	57	$R_{Ff} = 50/57$ $R_{Df} = 75/79$ $\Sigma R = 50/57$	-7/0	100 CLT (47 kg/m <sup>2</sup> , $R_{f,w}$ =35 dB or 42 dB fitting value) + insulation (160 mm MW) + brickwork
Rear wall	72	-		100 CLT (no direct connection to separation wall)
Side wall	74	-		80 CLT (no direct connection to separation wall)
Separation wall (hxb=2.6x5.3m)	56	$R_{Dd} = 57$ $R_{ceiling,Fd} = 58$ $R_{facade,Fd} = 55/59$ $R_{floor,Fd} = 72$ $\Sigma R = 51/53$	-5/-3	120 CLT (56 kg/m <sup>2</sup> ) with one sided planking of 2 x 12,5 mm gypsumboard (24 kg/m <sup>2</sup> ) on free standing metal profiles (50 mm with 40 MW) on 10 mm distance ( $R_{Dd,w}$ =57 dB, $R_{s,w}$ =37 dB, $\Delta R_{Dd,w}$ =20 dB)
Summation of partial insulations:	52	$\Sigma R_{ij} = 47/51$	-5/-1	
Measured value (apparent sound reduction) $R'_{w}$	50		-3/+1	
Difference	-2			

and 2 – and discussed thereafter – to allow for a direct comparison between the calculated flanking sound reduction values and the measured partial sound reduction values. This also gives an opportunity to validate the calculations and input values used.

Relevant data on the build-up of the direct and flanking elements concerned is summarised in the last column of both tables.

#### **Explanation on the results of measured partial sound reductions**

With respect to the partial sound reduction contributions as measured between adjoining living rooms and summarised in table 1 and 2, the following conclusions can be drawn:

From the measured values of the partial weighted sound reduction in table 1, the following priority for the contri-

butions to the total weighted horizontal sound reduction index measured of  $R'_w = 47$  dB on the upper level can be deduced:

- 1<sup>st</sup>: roof
- 2<sup>nd</sup>: separation wall
- 3<sup>rd</sup>: façade
- 4<sup>th</sup>: rear wall
- 5<sup>th</sup>: floor
- 6<sup>th</sup>: side wall

On the upper level the roof has the lowest partial sound reduction value and therefore is a main contributor to the horizontal sound reduction measured. This is because the CLT-plate (140 mm) used for the roof is continuous at the (rigid) connection to the bearing separation wall, without a dilatation or ballast layer, as is shown in the cross-section detail in figure 2.

From the measured values of the partial weighted sound reduction in table 2, the following priority for the contributions to the total weighted horizontal sound reduction index measured of  $R'_w = 50$  dB on the middle level can be deduced:

- 1<sup>st</sup>: separation wall
- 2<sup>nd</sup>: façade
- 3<sup>rd</sup>: ceiling
- 4<sup>th</sup>: floor
- 5<sup>th</sup>: rear wall
- 6<sup>th</sup>: side wall

In this case the 200 mm CLT-ceiling has a 7 dB higher partial insulation value measured ( $R'_w = 59$  dB) than that of the continuous 140 mm CLT-roof plate ( $R'_w = 52$  dB). This is mainly due to the discontinuity in the ceiling by a separation cut that has been applied in the CLT-ceiling at the junction with the separation wall, and partly due to its higher mass and a limited additional decoupling effect (elastomer at the top and bottom (conventional screws)).

When significant higher values for the apparent sound reduction than those measured in this example project are aimed for, thorough attention and advice on possible improvements in an early design phase will be needed for at least the first three elements in both priority lists (roof/ceiling, separation wall, façade). In this process validated prediction calculations with the simplified model regarding the effect of possible adaptations are useful.

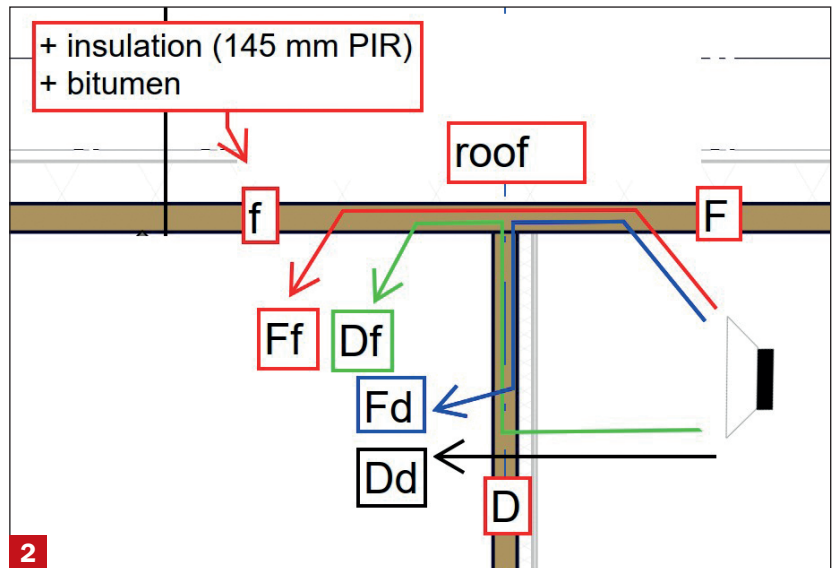
The next paragraphs will explain how the measured values can be used to validate calculations and their input data.

**Explanation on the results of calculated partial sound reductions**

With respect to the different calculated values for the sound reduction contributions of several sound paths through flanking elements as given in table 1 and table 2 and the differences, if any, with the partial sound reduction values measured, the following explanatory remarks and interpretations can be given.

**Roof**

For a continuous 140 mm CLT roof with insulation the partial sound reduction measured ( $R'_w = 52$  dB) – based



Cross-section at the junction of separation wall (with one-sided cladding) and continuous CLT-roof, with schematic indication of the contributions to the airborne sound reduction in the measurement direction, with direct sound transmission path (Dd) and three flanking paths (Ff, Fd, Df)

on a single measuring point on the middle of the CLT-ceiling and a assumed radiation factor  $\sigma$  of 1 – is 6 dB higher than the sum of the calculated contributions of both flanking paths radiating from the roof ( $R_{Ff} + R_{Df} = 46$  dB), see table 1. These first calculations are based on a vibration reduction index of  $K_{Ff} = 3$  for a continuous floor (T-or X-junction) [2] as well as on a flanking sound reduction of the CLT-roof of  $R_{t,w} = 38$  dB ( $25\log(m)-7$  [4]) for which at first only the mass of the CLT-layer ( $66 \text{ kg/m}^2$ ) of the roof is considered.

If the sound reduction of the flanking CLT-roof is considered to be determined by the total effective mass of the CLT including the added mass of the (stiff) thermal insulation plates (PIR) ( $4.5 \text{ kg/m}^2$ ) and the bituminous layers ( $8 \text{ kg/m}^2$ ) the total mass becomes  $79 \text{ kg/m}^2$  which – if based on mass - results in a 2 dB higher sound reduction ( $R_{t,w} = 40$  dB) and reduces the difference with the measured value down to 4 dB. However, this slight increase of mass cannot account for the total difference.

If the sound reduction index for the flanking CLT-roof is assumed to be at least equal to the measured laboratory value of the direct sound reduction (including resonant and forced transmission) of the total roof build-up – which may be tempting but can be judged as a valid assumption because of the rather stiff (PIR) thermal insulation plates that are attached with rigid connectors to the CLT-roof plate - a value of  $R_{t,w} = 45$  dB can be interpolated for the total roof build-up, based on available laboratory data – on direct sound reduction values of several roof types - in a building catalogue [4]. In that case the sum of the calculated contributions of both flanking paths radiating from the ceiling ( $R_{Ff} + R_{Df} = 52$  dB) matches exactly the measured value of the partial sound reduction of the ceiling ( $R'_w = 52$  dB).

However, if the calculation for the flanking of the continuous CLT-roof would be performed based on the vibrati

on reduction index values in ISO 12354-1 (E.3.2.3) [1] - with an additional assumption that  $K_{Ff}$ -values for T-junctions are almost the same as for X-junctions - a 6 dB higher value of  $K_{Ff} = 9,3$  dB would result. In that case an exact match of the calculated values ( $R_{Ff} + R_{Df} = 52$  dB) with the measured value can also be obtained in case  $R_{i,w} = 38$  dB is used as input for the flanking sound insulation based on the mass of a 140 mm CLT-plate of the roof itself, without any increasing influence of attached PIR-insulation or bituminous roofing.

#### Ceiling

For the 200 mm thick dilatated ceiling the sum of the calculated contributions of both flanking paths radiating from the ceiling ( $R_{Ff} + R_{Df} = 59$  dB) exactly matches the partial reduction value of the ceiling, as measured on the middle floor level, see table 2. In that case the calculations are based on a vibration reduction index of  $K_{Ff} = 10.3$  for the dilatated ceiling [2], a flanking sound reduction of the CLT-ceiling of  $R_{i,w} = 43$  dB ( $(25\log(m)-7)[4]$ ) based on the surface mass of  $94 \text{ kg/m}^2$  of the CLT-layer itself, as well as on a limited decoupling effect of  $\Delta K = 2$  dB (elastomer at top/bottom with conventional fasteners).

#### Floor

For the floor, the partial horizontal sound reduction index measured is similar on both levels ( $R'_w = 63-64$  dB) and is 15-16 dB lower than the sum of the calculated contributions of both flanking paths radiating from the floor ( $R_{Ff} + R_{Df} = 79$  dB). These calculation results are based on a vibration reduction index of  $K_{Ff} = 10.3$  for the dilatated CLT-floor [2], a sound reduction improvement of  $\Delta R_{Dd,w} = 14$  dB for the floating slab and a limited decoupling effect ( $\Delta K = 2$  dB). This large difference is most likely caused by a missing dilatation in the floating slab under the entrance doors at the time of measurement, which caused a direct coupling between the slabs of both adjoining living rooms via the corridor.

#### Façade

For the façade, that consists of a 100 mm CLT element placed on the CLT-floor but continuous at the connection to the 120 mm CLT-separation wall, the partial horizontal sound reduction indices measured ( $R'_w = 57$  dB) - based on four to five measuring points on the façade and an assumed radiation factor  $\sigma$  of 1 - are the same at both levels measured, see table 1 and 2. These values are 7-8 dB higher than the sum of the first calculated contributions of both flanking paths radiating from the façade ( $R_{Ff} + R_{Df} = 49-50$  dB). These first calculations are based on a vibration reduction index of  $K_{Ff} = 8.3$  for continuous facades [2] and on a flanking sound reduction of the CLT-façade of  $R_{i,w} = 35$  dB ( $(25\log(m)-7)$ ) based on the surface mass of  $47 \text{ kg/m}^2$  of the CLT-layer itself.

A possible partial explanation for the significant difference may be that the closed parts of the CLT-façade on both sides of the separation wall up to the intersections with large windows are rather small (0,5 m wide), which is not accounted for in the simplified calculation model. Another explanation for this large difference of 8 dB may be that the flanking sound reduction of the 100 mm CLT-

façade may be raised by the influence of added insulation and/or rather stiff connections with a heavy outer blade. On the top level these elements consist of stiff (PIR) thermal insulation plates attached to the CLT-blade, and directly on this insulation wooden laths with concrete rooftiles ( $45 \text{ kg/m}^2$ ). On lower levels an outer façade of 100 mm brickwork is attached to the CLT inner blade for stability by rigid connectors (anchors, point connections) with mineral wool insulation plates in the void against the CLT.

In these cases a fitting value for the effective flanking sound reduction of  $R_{i,w} = 42-43$  dB can be deduced if the difference between calculations and measured value should be zero, which is not unlikely for a flanking sound reduction index of these façade build-up compared with direct sound reduction values in databases [4], also because this value corresponds with an effective acoustic mass of  $90-100 \text{ kg/m}^2$ .

The database of ISO 12354-1 does not yet provide data for comparable CLT-junctions with a continuous CLT-façade element, unless the  $K_{ji}$ -values for an X-junction according E.3.2.3 in ISO 12354-1 [1] are assumed to be also valid for this T-junction, in which case a 3 dB higher value of  $K_{Ff} = 11$  dB would result and the difference with the measured values reduces to 4-5 dB and the fitting value for the effective flanking sound reduction of the façade reduces to  $R_{i,w} = 39-40$  dB.

#### Separation wall

For the direct separation wall, consisting of a 120 mm CLT element with one-sided free-standing planking of double gypsum ( $24 \text{ kg/m}^2$ ) on 60 mm void (40 mm mineral wool) the partial horizontal sound reduction indices measured - based on a single measuring point on the middle of the CLT-wall and a assumed radiation factor  $\sigma$  of 1 - are  $R'_w = 54$  dB on the top level and  $R'_w = 56$  dB on the middle level. This difference is mainly caused by the contribution of the flanking sound reduction  $R_{Fd}$  of a continuous CLT-roof vs. a dilatated CLT-ceiling.

The sum of the calculated contributions of the direct path and three flanking paths, all radiating from the CLT-side of the separation wall ( $R_{Dd} + R_{roof,Fd} + R_{façade,Fd} + R_{floor,Fd}$ ) are 4-5 dB below the value of partial sound reduction measured. With adapted values for the effective flanking sound reduction of the roof and the façade - as mentioned above - these differences reduce to 1 -3 dB. These calculation results are based on vibration reduction indices according [2], limited decoupling effect ( $\Delta K = 2$  dB) as mentioned before, a direct and flanking sound reduction value for the 120 mm CLT-wall of  $R_{s,w} = 37$  dB and a sound reduction improvement of  $\Delta R_{Dd,w} = 20$  dB for the free-standing planking, and therefore a direct sound reduction of the separation wall of  $R_{Dd,w} = 57$  dB.

#### Explanation on the results of the overall summations of partial sound reductions measured and calculated

With respect to the results of the overall summations of measured and calculated partial sound reductions between adjoining living rooms as summarised in table 1 and 2, the following remarks are made:

In both situations, on the upper floor as well as on the middle floor, the summed value of all partial horizontal sound reductions measured remains 2 dB above the actual weighted sound reduction indices measured. A likely explanation for this difference of 2 dB is that apparently not all sound radiating surfaces have been measured or accounted for. This is related to a practical choice on site between efficiency of the measurements vs. the amount of measuring positions for the construction level measurements. In this case for instance no accelerometers were placed against a small part of the roof surface in the dormers (continuous 100 mm CLT), where-as this part may contribute significantly due its smaller thickness compared with the main roof (140 mm CLT).

Another possibility is that the amount of measuring points for the construction level measurements on each surface should have been higher for more accuracy, and/or that the assumed radiation factor ( $\sigma = 1$ ) has been too low for some surfaces.

In both situations, the summed value of the sound reductions of all calculated sound paths (1 direct path and 9 flanking paths) remains 4 to 5 dB below the summed value of all measured partial sound reductions and remains 3 to 4 dB below the measured apparent sound reduction values of  $R'_{w} = 47$  and  $R'_{w} = 50$  dB, see table 1 and 2. A possible explanation for these (remaining) differences might be the inherent inaccuracy of the simplified model and its limitations [1]. If adapted values for the effective flanking sound reduction of the roof and the façade are applied as described before, these differences reduce to 0 to -1 dB resp. +1 to +2 dB.

### CONCLUSIONS, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

Construction level measurements pose a valuable tool to validate calculations of the sound reduction of individual sound paths. In the project example described a significant difference appeared in the horizontal sound reduction measured between adjoining living rooms on top floor level compared with the same separation wall on the middle floor. Detailed measurements of the partial sound reduction combined with calculations of the sound reduction of flanking paths according to the simplified model, have shown that this difference is mainly caused by the differences between the build-up of the roof (as a continuous CLT-element) and the ceiling (dis-continuous CLT-element).

The calculated flanking sound reduction values of the continuous roof give the best agreement with measured values when input data of ISO 12354-1 is used [1]. On the other junctions in this example project no corresponding junction type were available in ISO 12354-1 so far, however input data on these was available in another database [2].

For the continuous CLT-façade the calculated flanking sound reduction values could only be matched with the measured values if an increased sound reduction is assumed corresponding to an assumed increased effective mass due to the type of connection with the heavy outer blades (i.c. brickwork and rooftiles).

If adapted values for the effective flanking sound reduction of the roof and the façade are applied, differences between the total calculated sound reduction and the measured apparent sound reduction values are below 2 dB.

In all cases subtraction of the prediction uncertainty value ( $u = 2$  dB) [4] has not yet been applied for the calculated values of the sound reductions of the sound paths, neither for the overall values nor for the individual contributions. This is mainly because in this case the comparison of calculated results with measured values concerns a single measured situation which is more likely to represent an overall average of a natural distributed set of similar situations rather than to belong to the 5% worst case situations. However, when the goal of such calculations is to match a requirement that must be met for at least 95% of all similar cases (measured), this subtraction of  $u = 2$  dB should be applied before comparison of the calculated results with the requirement value occurs.

When significant higher values for the apparent sound reduction than those measured in this example project are aimed for, thorough attention and advice on possible improvements in an early design phase will be needed for elements that are most relevant regarding their limited partial sound insulation, in this case roof/ceiling, separation wall and façade. In this process validated prediction calculations with the simplified model regarding the effect of possible adaptations are useful to consult on the most efficient way to reach the quality level of sound reduction aimed for.

In addition to the existing databases of the airborne sound reduction of CLT-roof structures, such as in [4], it is recommended to add validated data on the flanking sound reduction as well.

It is recommended to expand the ISO 12354-1 database with more recent extended validated data comparable with [2], as well with input data validated for post and beam buildings. ■

### SOURCES

► [1] ISO 12354-1 Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms, 2017

► [2] Rabold, A., Chateauvieux-Hellwig, C., Mecking S., Schramm M., “Flanking transmission of solid wood elements in multi-storey timber buildings – input data and prediction models for airborne and impact sound excitation,” *Internoise Madrid, Spain, 2019*

► [3] ISO 10848-1:2017 Acoustics: Laboratory and field measurement of flanking transmission for airborne, impact and building service equipment sound between adjoining rooms

► [4] Blodt, A., Rabold, A., Halstenberg, M., Ecker, T., Huber, A., Huissel, L., Löffler, S., Scheurepflug, M., Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung, Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 1, Holzbau Deutschland-Institut e.V., 2019-03

# BRANDVEILIG BOUWEN MET HOUT

## WAAROM ZELF NADENKEN ESSENTIEEL IS

**Houten woningen, houten kantoorgebouwen en hele houten woonwijken: de plannen voor houtbouw schieten als paddenstoelen uit de grond. Het aantal nieuwe gebouwen dat voor een groot deel uit hout is opgebouwd groeit, en de eerste houten gebouwen zijn alweer een aantal jaar in gebruik. Het is duidelijk: bouwen met hout wint aan populariteit. Dat brengt voordelen, maar ook uitdagingen met zich mee. Bijvoorbeeld op het gebied van brandveiligheid. In dit artikel geven we een inkijkje in onze praktijkervaringen met brandveilig bouwen met hout.**



Bram Kersten,  
LBP Sight, Nieuwegein

De voordelen van houtbouw zijn duidelijk. Het is duurzaam, flexibel en esthetisch. Veel houten gebouwen bestaan uit modules die grotendeels in een fabriek worden geproduceerd en op locatie worden samengevoegd. Hierdoor kunnen we sneller bouwen. Ook biedt het bouwen in een fabriek – onder droge omstandigheden en met veel standaardisatie – mogelijkheden voor goede kwaliteitscontrole.

### REGELGEVING VOOR VEILIGE HOUTBOUW

Ondertussen groeit onze kennis over de invloed van hout op de brandveiligheid van gebouwen. En beseffen we dat in bepaalde situaties extra maatregelen nodig zijn om een voldoende veilig gebouw te realiseren. Wat we precies verstaan onder ‘voldoende veilig’? Dat is uiteraard een beetje arbitrair. Helaas laat de regelgeving ons hier nog in de steek. Er wordt op dit moment wel gewerkt aan aangepaste regelgeving die aansluit op de grootschalige toepassing van hout in gebouwen. Maar waarschijnlijk duurt het nog een paar jaar voordat deze regelgeving er is. In de tussentijd moeten adviseurs, opdrachtgevers en het bevoegd gezag – oftewel de gemeente, meestal geadviseerd door de brandweer – zelf nadenken over de risico’s én de mogelijke maatregelen om deze risico’s te verkleinen.

LBP|SIGHT adviseert regelmatig over brandveiligheid binnen houtbouwprojecten. In dit artikel noemen we een aantal aspecten die we tegenkwamen in onze projecten, inclusief de bijbehorende oplossingen. Pretenderen we hiermee dat wij overal de passende, enige juiste oplossing voor hebben? Zeker niet. We willen vooral laten zien dat het goed is om bij houtbouwprojecten **nét even** verder te denken. Wat in ‘gewone’ gebouwen goed werkt, werkt in houtbouw namelijk niet altijd.

### SOORTEN HOUTEN CONSTRUCTIES

Elk houten gebouw is anders en moeten we dus anders beoordelen. In onze projecten zien we verschillende soorten opbouwen van constructies. In de meeste hedendaagse houten gebouwen in Nederland wordt er gebruikgemaakt van Cross Laminated Timber (CLT). Veel voorkomende opbouwen zijn:

- Dragende wanden van CLT, vloeren van CLT.
- Dragende wanden van CLT, vloeren van beton.

- Kolommen van CLT, niet-dragende houtskeletbouw-wanden (HSB) en vloeren van CLT.
- Kolommen van CLT, vloeren van beton.

### RISICO'S VAN ONBESCHERMD HOUT

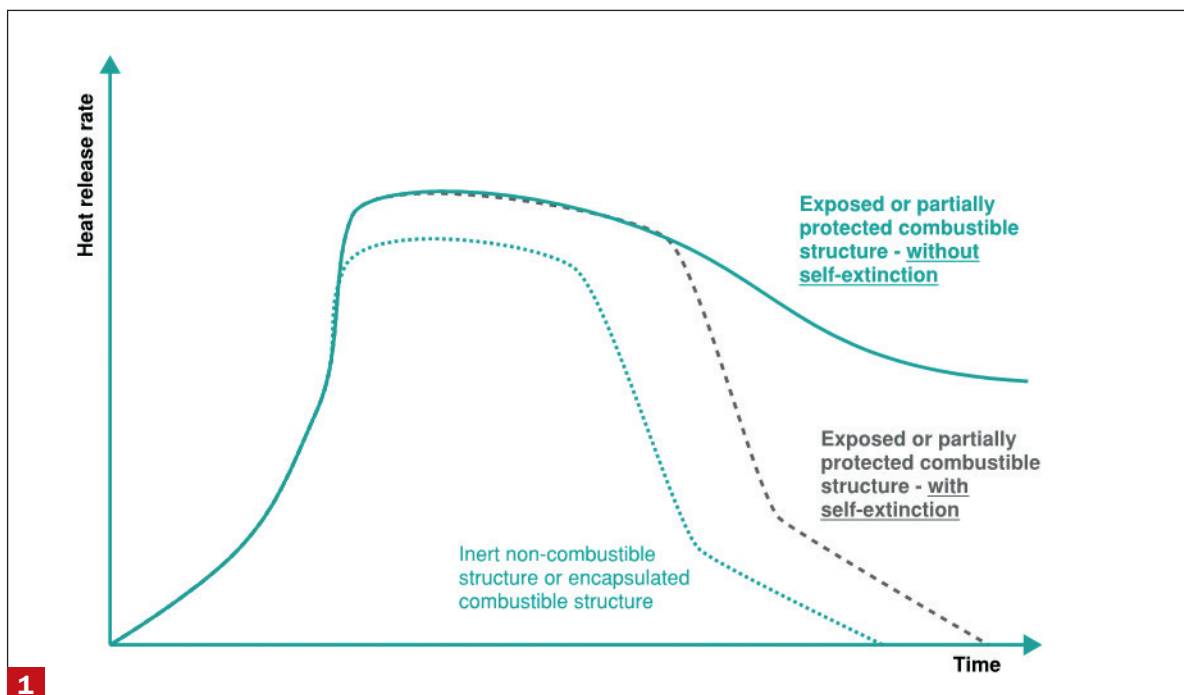
Afhankelijk van de constructie en de wens van de opdrachtgever en architect, is er meer of minder hout in het zicht. Het is met name dit onbeschermd hout dat kan gaan meebranden en de risico's kan vergroten. Dit effect neemt uiteraard toe naarmate er meer hout onbeschermd is. Zo resulteert een onbeschermd plafond in combinatie met volledig onbeschermd wanden in een hoger risico dan alleen een onbeschermd plafond.

Gelukkig – in ieder geval voor de brandadviseur – is het brandwerend beschermen van hout in veel gevallen nodig om voldoende brandwerendheid te realiseren. Veel onbeschermd hout komen we dus niet tegen. Vooral in hogere gebouwen – de gebouwen die ook een groter risico vormen – is de vereiste brandwerendheid met betrekking tot bezwijken zodanig hoog, dat alleen het hout dit niet kan realiseren, tenzij het heel dik wordt. Het hout moet dan afgetimmerd worden met bijvoorbeeld een gipsvezelplaat. Ook voor het realiseren van voldoende geluidisolatie is extra beplating vaak noodzakelijk.

### ONTWIKKELING VAN BRAND IN HOUTBOUW

In de bouwregelgeving gaat men impliciet uit van gebouwen die vooral uit onbrandbare materialen bestaan. Dit betekent dat de constructieonderdelen slechts beperkt bijdragen aan de brand. De omvang van de brand wordt voornamelijk bepaald door de hoeveelheid brandbaar materiaal als gevolg van de inrichting. Uiteraard is die inrichting ook variabel, maar er is wel sprake van een bepaalde bandbreedte waar het overgrote deel van de inrichting binnen past. Hierdoor zal een brand in bijvoorbeeld een woning in veel gevallen na ongeveer 60 minuten vanzelf doven, omdat de brandbare materialen zijn opgebrand.

In een gebouwconstructie met veel hout dat niet of slechts beperkt wordt beschermd, gaat het hout bij een ontwikkelde brand meebranden. Dit kan leiden tot een fellere brand én een langere brand, zie figuur 1.



**1** Weergave brandvermogen bij een brand in een onbrandbaar compartiment of in een compartiment met houtconstructie [1]

Er kan dus een andere brand optreden dan waar we in de bouwregelgeving van uitgaan. Dat betekent dat de huidige eisen uit het Bouwbesluit niet meer passend of voldoende kunnen zijn om de risico's voldoende te beperken bij brand. De constructie zorgt dan dus voor een verlaging van het brandveiligheidsniveau. Naarmate gebouwen in hogere risicocategorieën vallen – bijvoorbeeld grote of hoge gebouwen – wordt het belangrijker om hier nauwkeurig naar te kijken en eventueel aanvullende voorzieningen te treffen. Dit om de risico's te beperken en weer een voldoende hoog veiligheidsniveau te realiseren.

**KEUZE VOOR WEERSTAND TEGEN BRANDOVERSLAG**

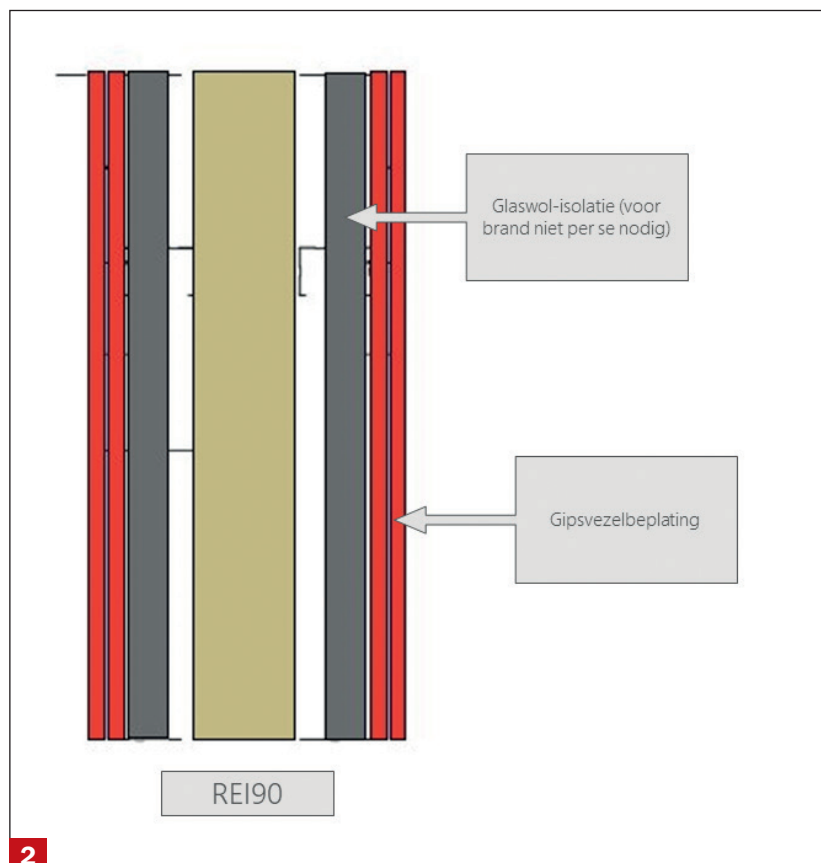
Het grotere brandvermogen van hout zorgt ervoor dat er hogere temperaturen kunnen optreden bij een brand in een woning. Ook kunnen hetere en langere vlammen optreden bij een uitslaande brand. In de brandoverslagberekeningen volgens NEN 6068 [2] kan dit worden meegenomen door uit te gaan van een weerstand tegen brandoverslag (wbo) van 90 minuten in plaats van 60 minuten. In de berekening is de wbdbo namelijk gekoppeld aan de vuurbelasting. Overigens is het effect in de berekeningen niet heel groot; een aanpassing van de norm is hier noodzakelijk.

**PRODUCTEN MET HOGERE BRANDWERENDHEID**

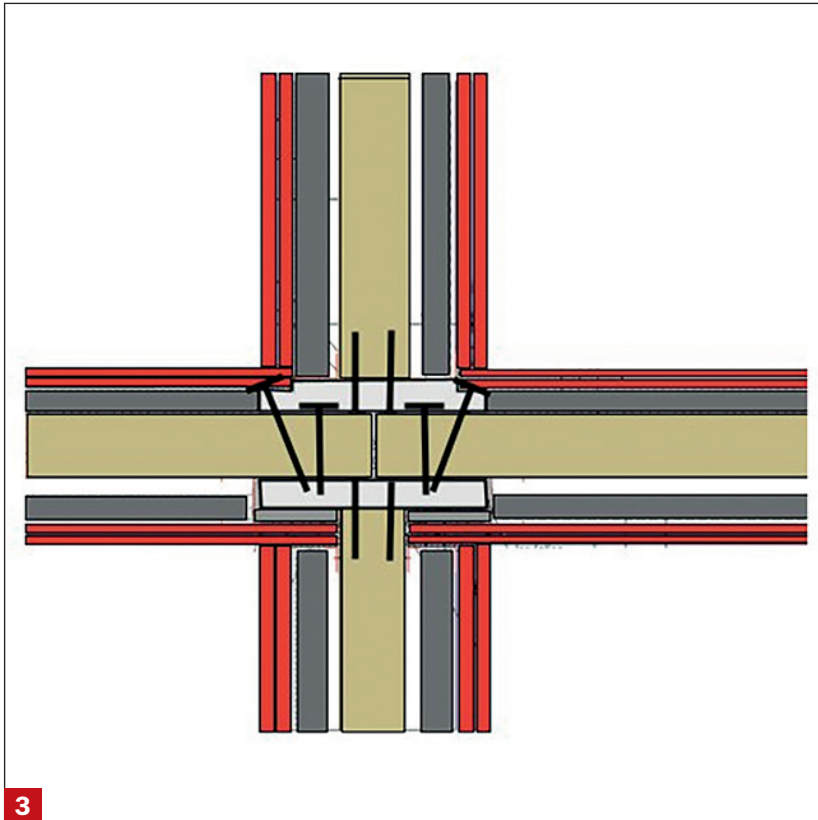
Door de hogere temperaturen kunnen brandwerende constructies sneller bezwijken dan we verwachten. Deze constructies worden namelijk getest bij een normatief brandverloop (de zogenaamde 'standaard brandkromme') en moeten dan aan een aantal criteria voldoen. Als we constructies blootstellen aan hogere temperaturen dan de testtemperaturen, bezwijken ze mogelijk eerder.

Kunnen we dit ondervangen door te testen met een hogere temperatuur? Nee, want die testen zijn bijna niet beschikbaar. Wel kunnen we het effect enigszins ondervangen door te kiezen voor producten met een hogere brandwerendheid. Denk aan een 90 minuten-brandweren-

de scheiding in plaats van een 60 minuten-brandwerende scheiding. Zo verhoog je de betrouwbaarheid van de brandscheiding, onder meer doordat bij een langere test ook een hogere temperatuur optreedt. Tijdens een test blijft de temperatuur namelijk stijgen. Simpel gezegd kun je stellen dat de kans dat een 90 minuten-brandwerende scheiding (getest volgens de standaard brandkromme) 60 minuten brandwerendheid behaalt in een houten gebouw groter is dan als je een 60 minuten-brandwerende scheiding toepast.



**2** Voorbeeld van een 90 minuten brandwerende wand



Voorbeeld van een 90 minuten brandwerende wand en vloer

### RISICO'S ONDERVANGEN MET GIPSVEZELPLATEN OF SPRINKLERINSTALLATIE

Bovenstaande risico's kun je ondervangen door het aftimmeren van de houten delen met bijvoorbeeld gipsvezelplaten. Ook een sprinklerinstallatie kan de brand helpen beheersen en de effecten van het hout verkleinen. Als je de sprinklerinstallatie ook inzet als onderdeel van een gelijkwaardige oplossing – bijvoorbeeld om grotere brandcompartimenten toe te staan of de brandwerendheid van de constructie te reduceren – moet je wel goed nadenken over de betrouwbaarheid van de installatie. Het kan dan slim zijn om te kiezen voor meerdere pompen.

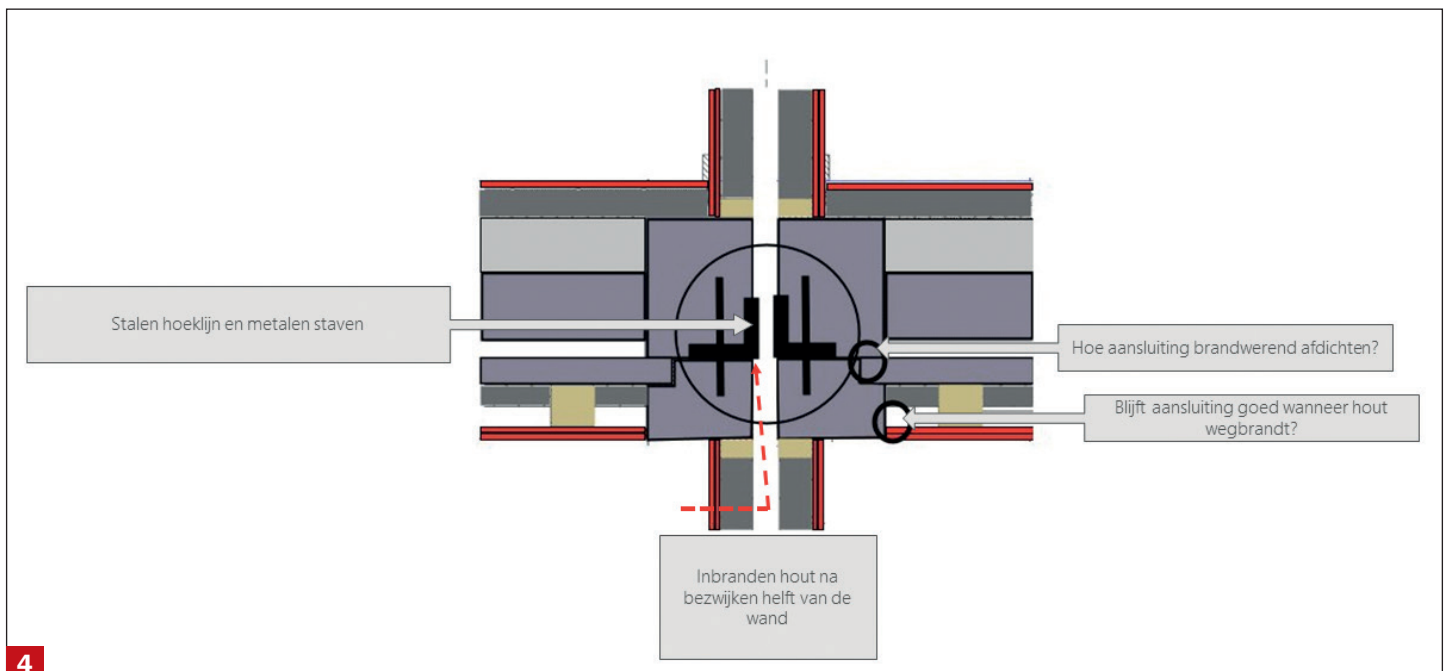
### BRANDWERENDHEID BEPALEN IN DE PRAKTIJK

Je kunt op verschillende manieren aantonen dat een houten gebouw een bepaalde brandwerendheid heeft. Bijvoorbeeld met testrapporten van de hele constructie, testrapporten van afzonderlijke onderdelen of de NEN EN 1995-1-1 (Eurocode 5) [3].

Helaas is de Eurocode op dit moment nog niet goed geschikt om de brandwerendheid van CLT te berekenen. De norm gaat namelijk uit van een lineaire inbrandsnelheid van hout, terwijl dit bij CLT niet zo hoeft te zijn. Bij brand kan CLT gaan delamineren, waardoor na verloop van tijd de lijm loslaat en een laag van het hout wegvalt. Hierdoor wordt er weer 'vers' hout blootgesteld aan de brand en is er op dat moment sprake van sneller inbranden. Bij het berekenen van de vereiste dikte van het hout moet je hier rekening mee houden. Men werkt aan een wijziging van de Eurocode waarin onder meer dit onderdeel beter wordt opgenomen. Gaat het om details die zijn gebaseerd op brandproeven? Dan speelt dit uiteraard niet, omdat ook tijdens de brandproef het delamineren kan optreden.

Een ander lastig punt van de Eurocode en van testrapporten is dat ze meestal uitgaan van tweedimensionale details. Figuur 2 toont een wandopbouw van dragende CLT-wand en gipsvezelbeplating. Afhankelijk van de CLT-dikte en de belasting, kun je met deze opbouw 90 of zelfs 120 minuten brandwerendheid behalen. Deze brandwerendheid is bepaald met behulp van een brandproef.

In figuur 3 zie je dezelfde wand in combinatie met een vloer. De vloer zelf is voldoende brandwerend met de aangegeven beplating. Ook lopen de platen voldoende ver door, zodat er genoeg dekking is op de plek van de knoop. Als je de platen namelijk precies tot in de hoek zou aanbrengen dan zal hier bij brand snel een naad ontstaan waardoor de vlammen achter de beplating kunnen komen. In de figuur zie je dat de vloerdelen en wanden



Voorbeeld van een CLT-vloer en CLT-liggers

aan elkaar bevestigd zijn met schroeven. Deze schroeven zijn essentieel voor de stabiliteit en sterkte van de constructie en moeten dus ook tegen brand worden beschermd. Dit kan door het toepassen van de brandwerende beplating. De schroeven moet je dan achter de beplating aanbrengen. Dat is makkelijker als je de platen later aanbrengt, maar in veel gevallen worden dit soort constructies juist toegepast in bijna kant-en-klare modules. De schroeven worden dan juist op de bouwplaats aangebracht. Dat betekent dat een deel van de beplating alsnog op de bouw moet worden aangebracht

In figuur 4 zie je een andere opbouw, met CLT-liggers in plaats van dragende CLT-wanden. De woningscheidende wanden bestaan uit HSB. Deze HSB-wanden hoeven slechts een brandwerendheid te hebben van 60 minuten, terwijl de liggers vaak 90 of zelfs 120 minuten brandwerend moeten zijn. Dit omdat ze – in tegenstelling tot de wanden – onderdeel zijn van de draagconstructie. De liggers worden aan de woningzijde deels beschermd door gipsvezelbeplating, maar niet overal. Op die plekken zullen de liggers dus inbranden. Dat is geen probleem, zolang de liggers – na het wegbranden van het hout – nog voldoende dikte hebben om de belasting te kunnen dragen.

Uiteindelijk zal de gipsvezelbeplating onder de plafonds ook wegvallen en zal de ligger ook aan de zijkant gaan inbranden. Na ongeveer 30 minuten zal een deel van de HSB-wand wegvallen en kan het vuur ook in de spouw tussen de units terechtkomen. Dat betekent dat de ligger ook aan die zijde kan gaan inbranden. Het resultaat? Een ligger die aan drie kanten kan inbranden. Als je wilt voorkomen dat de afmetingen van de ligger te groot worden, heb je hier dus extra bescherming nodig.

Dit geldt ook voor de staalconstructie. In dit geval worden de vloeren en liggers met elkaar verbonden via metalen hoeklijnen en staven. Deze worden deels beschermd door het hout, maar een deel komt na verloop van tijd ook bloot te liggen. Daardoor verliest het zijn sterkte bij onvoldoende bescherming. Is het aanbrengen van brandwerende platen in de spouw een oplossing? Nee, want je

kunt de spouw niet goed bereiken tijdens de bouw. Je kunt de spouw beter vullen met steenwol. Sowieso adviseren wij altijd om de spouw brandwerend dicht te zetten. In dit geval is het echter ook essentieel!

### BRANDMANCHETTEN EN BRANDKLEPPEN IN HOUTBOUW

Omdat de bouwpraktijk vooral uitgaat van gebouwen met onbrandbare materialen, zijn veel onderdelen nog niet getest in houtconstructies. Neem bijvoorbeeld doorvoeringen zoals brandmanchetten en brandkleppen. Als een brandklep is getest in een steenachtige wand dan wil dat niet zeggen dat hij ook voldoet in een CLT-wand. Je kunt ook niet zeggen dat hij *niet* voldoet, maar het is in ieder geval niet aangetoond. Bij de keuze van dit soort producten moet je op dit moment soms nog zoeken naar het product met het juiste certificaat. Gelukkig is er wel steeds meer beschikbaar.

### CONCLUSIE: KIES VOOR EEN ROBUUST BRANDVEILIGHEIDSCONCEPT

Het is duidelijk dat brandveilig bouwen met hout mogelijk is. Het is vooral zaak om goed na te denken over een robuust brandveiligheidsconcept, met aandacht voor details en aansluitingen in een gebouw. En daarbij geldt: het ene houtbouwproject is het andere niet. Bij elk project kom je andere uitdagingen en oplossingen tegen; er is bijna altijd sprake van maatwerk. Houtbouw is nu eenmaal in opkomst en relatief nieuw. We moeten zoveel mogelijk kennis verzamelen om goede, veilige houten gebouwen te realiseren. Zelf nadenken dus. Zo nemen we het voortouw en komen praktijkkennis en aanpassingen in de regelgeving hopelijk snel samen. ■

### BRONNEN

- [1] “Compliance Road-map for the Structural Fire Safety Design of Mass Timber Buildings in England”, Danny Hopkin et al, gepubliceerd door SFPE Europe
- [2] NEN 6068:2020 Bepaling van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten
- [3] NEN EN 1995-1-1:2005 Eurocode 5: Ontwerp en berekening van houtconstructies - Deel 1-1: Algemeen - Gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen (inclusief C1:2006)

## ■ VOOR IN DE AGENDA

**10e Kennisdag, 28 mei 2024, HAN Arnhem**  
**We zien jullie daar graag!**

# AUTOMATISCHE DAGLICHTFACTOR BEREKENING

## DOOR GEBRUIK VAN OPEN DATA PLATFORMEN EN VISUEEL PROGRAMMEREN

**De automatische daglichtfactor tool stelt de ontwerper in staat om zijn ontwerp tussentijds te valideren. Het vergemakkelijkt de daglichtanalyse door gebruik te maken van Speckle en Rhino.Inside. Het ondersteunt normtoetsing op basis van een Revit model, stimuleert digitalisering in de bouwsector. Voor ontwerpers biedt de Rhino.Inside versie van de tool een eenvoudige daglichtnorm-evaluatie met live updates. Speckle maakt snelle validatie mogelijk en vereenvoudigt data-uitwisseling tussen disciplines, elimineert dubbel werk, zorgt ervoor dat adviseurs niet een Revit licentie hoeven te bezitten en brengt de bouwsector een stap dichterbij een interdisciplinaire en gedigitaliseerde bouwwereld.**



T. (Teun) Seijs,  
DD-lab, Alkmaar

De daglichtanalysetool binnen Revit vertegenwoordigt een digitaliseringsontwikkeling voor de bouwsector. Deze tool is voortgekomen uit onderzoek binnen het DD-lab (Digital Discovery lab) van Hogeschool Inholland Alkmaar en biedt ontwerpers de mogelijkheid om daglichtanalyses uit te voeren in Revit. Het integreert de berekening in Revit en voegt automatisch resultaten toe aan het model, wat ontwerpers helpt om complexe daglichteisen te begrijpen. Bovendien is er een versie van de tool ontwikkeld die gebruikmaakt van Speckle om bi-directioneel data tussen de adviseurs en ontwerper uit te wisselen, en daarmee dubbel modellerwerk voor de adviseur te verhelpen. Dit draagt bij aan efficiënter ontwerpen en samenwerken.

### **De uitvrager: het DD-lab**

De tool is voortgekomen uit een actueel digitalisering onderzoeksvraagstuk dat speelde binnen het DD-lab van Hogeschool Inholland Alkmaar dat hoort bij het cluster BBE (Bachelor of Built Environment). De focus van dit lab ligt op het ondersteunen van de bouwsector bij het omarmen van digitale technologieën.

Binnen het lab bundelen studenten, docenten en bedrijven hun krachten om technologische vraagstukken aan te pakken die relevant zijn voor de bouwsector. Deze samenwerking resulteert in frisse inzichten en nieuwe kennis, die, net als deze tool, publiekelijk toegankelijk worden gemaakt. Dit draagt bij aan verdere digitalisering aan de sector. De vergaarde kennis wordt bovendien toegepast om het onderwijs te verrijken en de lesprogramma's binnen het BBE-cluster actueel te houden, met als doel studenten voor te bereiden op toekomstige uitdagingen als ingenieurs.

### **AUTOMATISERING IN DE BOUWSECTOR**

Binnen de bouwsector bestaan diverse disciplines, elk met hun eigen gespecialiseerde software. Het behouden van de sterke punten van deze software tijdens het samenwerken met andere disciplines vereist echter dat de gegevens uit deze programma's op elkaar worden afgestemd. Dit is ook het geval van de daglichtfactoranalyse bij het uitwisselen van de geometrie en bouwfysische eigenschappen van het bouwwerk. Hierbij moeten deze

gegevens tussen de verschillende softwaretoepassingen worden uitgewisseld en verwerkt om het berekeningsproces te automatiseren.

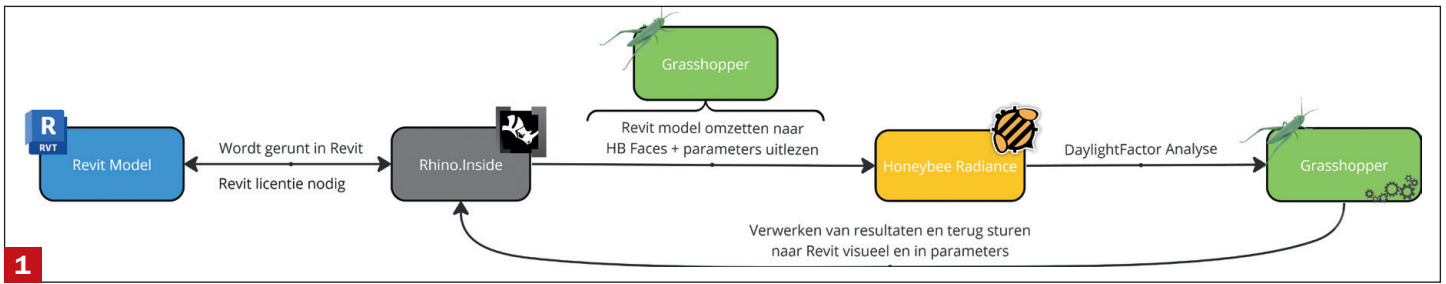
Het doel van automatisering is om veel voorkomende taken door de computer te laten doen en om dubbel werk te voorkomen bij verschillende partijen. Er wordt nog vaak dubbel werk gedaan zoals het overbrengen van een model vanuit Revit naar Rhino door een adviseur, het omvormen van het Revit model naar een model dat geschikt is voor de analyse en/of het integreren van analysesresultaten in de parameters van een Revit-model. Automatisering vermindert de tijdsinspanning van beide partijen en elimineert repetitieve en geestdodende taken die voorheen voor ieder project opnieuw handmatig werden uitgevoerd.

### **De Vernieuwde Norm voor daglichttoetreding**

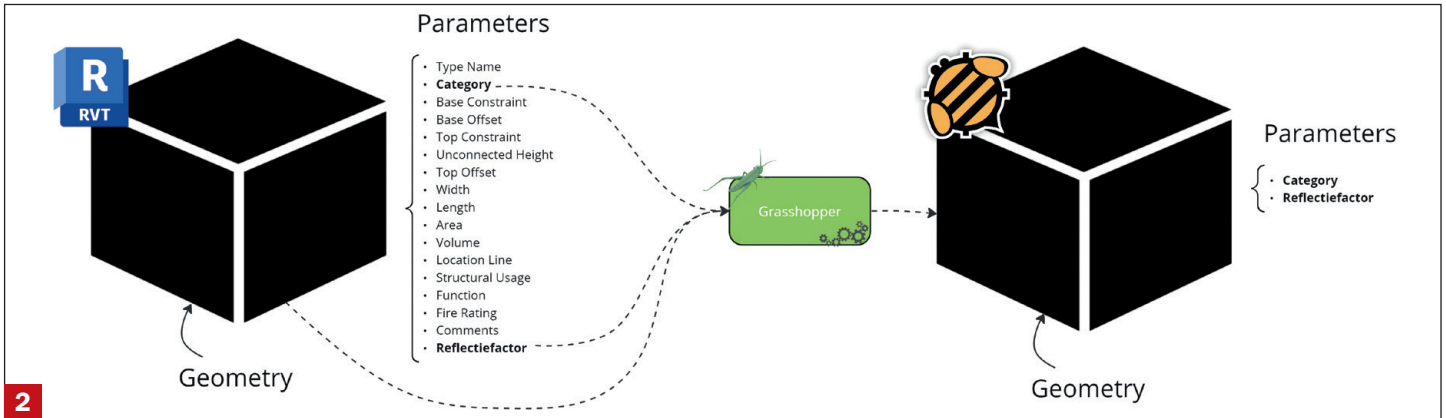
NEN 2057 stelt minimale daglichteisen voor gebouwen vast. Deze norm is echter beperkt en heeft moeite met complexe geometrie. Er is nu een nieuwe norm ontwikkeld, NEN-EN 17037. NEN-EN 17037 kan wel complexe geometrieën aan door middel van een gedetailleerdere benadering van de berekeningen.

Om aan NEN-EN 17037 te voldoen, wordt gebruik gemaakt van verfijnde berekeningsmodellen en gespecialiseerde software. De verfijnde modellen voorspellen nauwkeuriger hoeveel daglicht een gebouw kan bereiken. Het is niet haalbaar om deze berekeningen handmatig uit te voeren, in tegenstelling tot de equivalente daglichtberekening uit NEN 2057. Voor NPR 4057, de praktijkrichtlijn van NEN-EN 17037, worden diverse factoren in acht genomen, zoals raamafmetingen, raampositie, de reflectiefactoren van oppervlakken, de LTA-waarde van het glas, complexe geometrische vormen en zelfs hoe vaak de lichtstralen weerkaatsen. Deze berekening kan worden uitgevoerd met behulp van gevalideerde software zoals Velux of Radiance [1].

De overstap naar NEN-EN 17037 markeert een belangrijke ontwikkeling in de bouwsector met betrekking tot digitalisering. Deze vernieuwde norm biedt nauwkeurigere berekeningen, stimuleert een zoektocht naar nieuwe oplossin-



Workflow Rhino.Inside



Data uitwisseling

gen door het inzetten van software en heeft invloed op hoe gebouwen worden ontworpen en getoetst met behulp van digitale technologieën.

**INTEGREREN VAN DAGLICHTBEREKENINGEN IN REVIT**

**Velux software**

De Velux-software kon niet worden geïntegreerd in de te ontwikkelen tool. Dit komt doordat het handmatig voorbereiden, exporteren en importeren van het Revit-model vereist is voordat de berekening kan plaatsvinden. Bovendien ontbreekt een directe koppeling tussen Velux en Revit, wat ervoor zorgt dat de resultaten niet automatisch aan het Revit model werden toegevoegd [2]. In tegenstelling tot de Velux software kan Radiance wel worden geïntegreerd via de Ladybug-tools die op hun beurt binnen Grasshopper draaien. Deze configuratie heeft wel een directe verbinding met Revit.

**Radiance**

Radiance is een computerprogramma dat wordt gebruikt om te begrijpen hoe licht zich in gebouwen en omgeving gedraagt. Het belangrijkste deel van dit programma is een berekeningsmotor die lichtniveaus van punten in een ruimte berekent. Om dit te doen, hebben we informatie nodig over de geometrie, de materiaaleigenschappen en de richting van waar het licht vandaan komt.

De motor van Radiance gebruikt een slimme aanpak om de berekeningen snel en nauwkeurig te maken. Deze berekeningsmotor begint bij het punt waar gemeten moet worden hoeveel licht er is en volgt dan de weg die het licht heeft afgelegd terug, dus vanuit het punt naar de bron van het licht. Er zijn verschillende soorten licht waar Radiance rekening mee houdt. Soms komt licht direct van lichtbronnen zoals zonlicht of een spiegelend oppervlak. Soms komt licht van andere oppervlakken die het licht opvangen en weerkaatsen of soms van diffuus licht [3].

Radiance is een opensource software en kan erg rekenintensief zijn. De hoeveelheid rekenkracht kan verminderd worden door instellingen te veranderen, deze instellingen maken de berekening echter minder accuraat. Het wordt daarnaast aangeraden om Accelerad te gebruiken. Accelerad voert de berekening op de GPU uit om de CPU minder te belasten [4].

**DE DAGLICHT ANALYSE TOOL VANUIT REVIT**

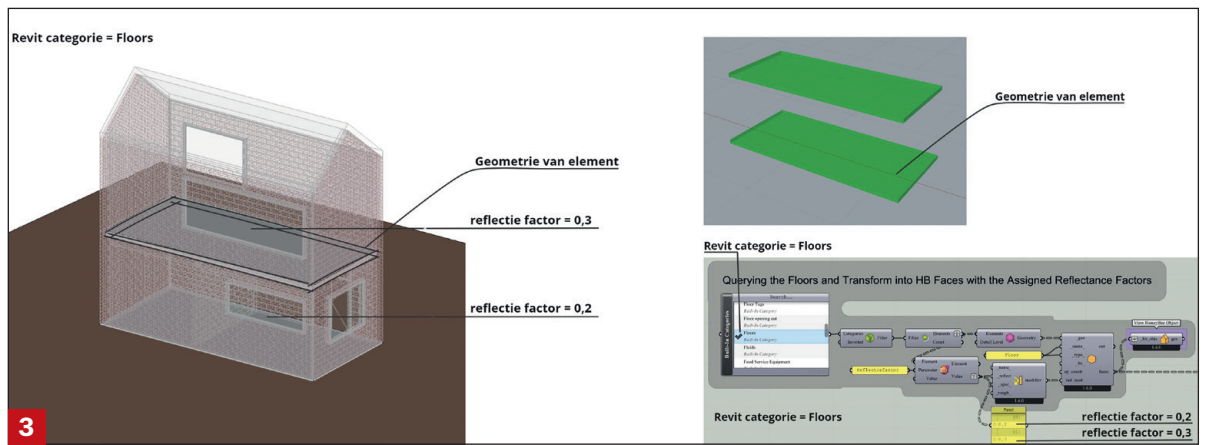
**De Tool voor ontwerpers**

Het hoofddoel van deze tool is de ontwerper de mogelijkheid te bieden om tussentijds het model te toetsen aan de daglichteisen. Binnen de bronapplicatie rekent de tool de gespecificeerde ruimtes door op basis van data verkregen uit het Revit-model.

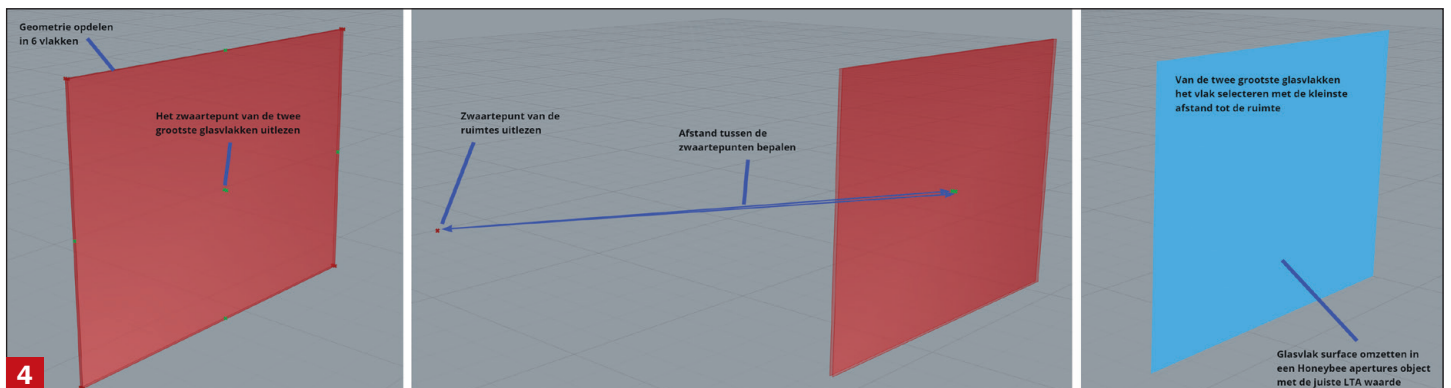
**Workflow van de daglichtanalysetool**

De daglichtfactorberekeningen zijn beschikbaar in de Ladybug-tools. Deze tools kunnen enkel binnen Grasshopper in Rhino draaien. Het is daarom noodzakelijk dat een bureau beschikt over zowel een Rhino- als een Revit-licentie. Daarnaast moet er een live brug geslagen worden tussen de ontwerpsoftware (Revit) en de validatiesoftware die in Rhino draait. Deze brug wordt verwezenlijkt door de Rhino.Inside add-in. Deze add-in maakt het mogelijk om binnen Revit de Rhino-applicatie te draaien waardoor Grasshopper direct kan communiceren met elementen in het Revit-model, zie figuur 1.

Dankzij het behoud van data worden Revit elementen geselecteerd op basis van hun categorieën, zoals daken, muren en vloeren. Deze classificatie bepaalt ook de overeenkomstige Honeybee-elementen waarnaar de Revit-elementen worden omgezet. Voor de bouwfysische eigenschappen zijn door de modelleur specifieke parameters in het Revit-model opgenomen die door een Grasshopper-component worden uitgelezen. Deze waarden worden



Elementen met bouwfysische eigenschappen



Omvormen van beglazing

toegewezen als bouwfysische eigenschappen aan het Honeybee-object, zie figuren 2 en 3, zoals de reflectiefactor. Hierdoor hebben ontwerpers de vrijheid om af te wijken van de standaard reflectiefactoren die gespecificeerd zijn in de NPR wanneer een aangepaste situatie nodig is. Aangezien de tool binnen Revit draait, worden deze Honeybee-waarden direct aangepast wanneer ze worden gewijzigd in het Revit-model.

#### Probleem met omvormen van geometrie

Niet alle elementen kunnen echter direct worden overgenomen, omdat Revit-elementen rechthoekige vlakken zijn. Aan de andere kant bestaan Rhino- en Honeybee-elementen uit surfaces (enkele vlakken). Wanneer deze rechthoeken worden omgezet in Honeybee-objecten, wordt aan elk vlak een LTA-waarde en een refractiefactor toegewezen, wat leidt tot te veel geblokkeerd licht. Om aansluiting te vinden bij Revit-beglazing, is een module in de tool geïntegreerd die alle vlakken per venster sorteert op grootte en vervolgens het vlak eruit filtert dat het dichtst bij de aangrenzende ruimte ligt. Dit zorgt ervoor dat alleen het grootste glasvlak dat grenst aan de binnenruimte wordt omgevormd naar Honeybee beglazing.

#### Berekening resultaten in het Revit model

De resultaten van deze berekeningen worden per meetpunt uitgedrukt in percentages, de verhouding tussen het licht op het meetpunt en het buitenlicht. Buitenlicht heeft standaard een percentage van 100%. De waarden voor de verschillende meetpunten zijn bijna altijd ongelijk. Dicht bij een raam kan een meetpunt bijvoorbeeld een waarde van 8% hebben terwijl dit in een hoek van de kamer 1,0% kan zijn.

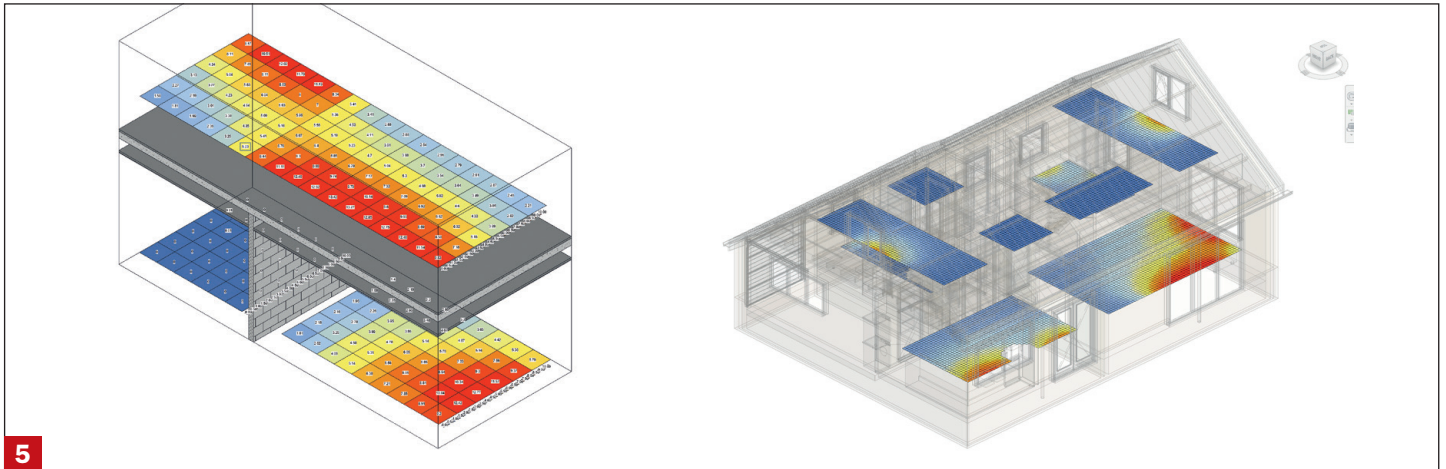
Volgens de norm moeten de helft van alle meetpunten in de ruimte een waarde van 2,1% of hoger hebben. Deze drempelwaarde kan in de tool worden aangepast om verschillende opties te onderzoeken en om de tool relevant te houden bij veranderingen in de norm. Het berekenen van deze waarde houdt in dat wordt geteld hoeveel meetpunten groter zijn dan of gelijk zijn aan 2,1%. Deze punten worden als 'true' aangemerkt. Als het meetpunt kleiner is dan 2,1%, wordt het 'false'. Het aantal 'true'-punten wordt gedeeld door het totaal aantal meetpunten en vermenigvuldigd met 100%. Als deze waarde onder 50% valt, voldoet de ruimte niet aan de norm.

De berekende waarden worden toegewezen aan de juiste Revit-parameters, die automatisch worden bijgewerkt in Revit. Doormiddel van deze parameter kan een kleurenschema worden gegenereerd, waarbij rood aangeeft dat de ruimte niet voldoet aan de norm en groen wel. Zo ontstaat een overzichtelijke plattegrond die de daglichtkwaliteit weergeeft, zie bijvoorbeeld figuur 5.

In de versie van de tool die in Revit draait, is een module geïntegreerd die de kleur van elk vlak van de heatmap-mesh uitleest, er een Revit-materiaal van maakt en elk vlak als gekleurde DirectShape naar Revit exporteert. Vanwege de vele vlakken in de mesh kan de conversie een aanzienlijk tijd in beslag nemen. Er is ook een module die de resultaten als 3D-tekst op elk meetpunt in Revit plaatst, wat de lichtverdeling ook inzichtelijke en visueel maakt.

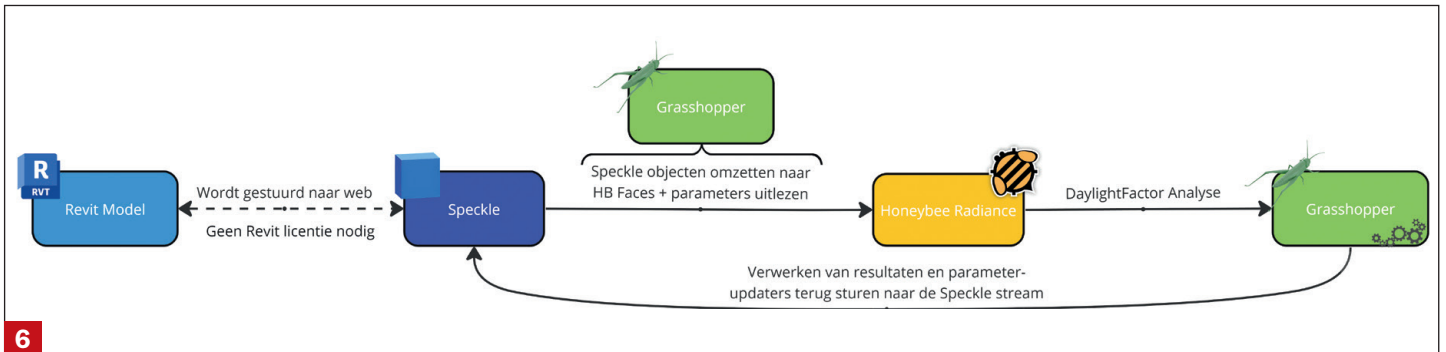
#### Voordelen van de daglicht tool binnen Revit

Een groot voordeel van deze tool is dat ontwerpers deze op de achtergrond binnen Revit kunnen draaien. Wanneer



5

Resultaten in Revit



6

Workflow Speckle

de ontwerper aan het modelleren is, wordt automatisch een live-update getoond over de mate waarin de ontworpen verblijfsruimtes voldoen aan de daglichtnorm.

Een ander voordeel van deze tool is dat ontwerpers snel een tussenliggende validatie kunnen uitvoeren zonder dat de adviseur de geometrie opnieuw in Rhino moet bouwen en handmatig bouwfysische waarden moet overnemen. Bovendien worden de resultaatgegevens direct aan het Revit-model toegevoegd, waardoor alle data op één centrale plaats blijft.

**DAGLICHTFACTOR ANALYSE ZONDER REVIT, MET SPECKLE**

Voor deze versie van de tool is gebruik gemaakt van Speckle, een open source platform voor gegevensuitwisseling. Hierbij kan elke betrokken partij vanuit zijn eigen softwareapplicatie gratis gegevens verzenden en ontvangen via een online stream. In de web omgeving kunnen afzonderlijke elementen worden geselecteerd om hun parameters te bekijken, en eenvoudige overzichten van modelinformatie kunnen worden gemaakt. Speckle is beschikbaar voor talloze softwarepakketten zoals Revit, Blender, Rhino, Archicad, Sketchup en Tekla [5].

Eerst moet een partij een ‘stream’ aanmaken waarin de gegevens worden gedeeld. Vervolgens worden de elementen vanuit de ene software naar de Speckle stream gestuurd, waarbij ze worden omgezet in Speckle-objecten, zie figuur 6. Deze Speckle-objecten fungeren als universele sleutels die passen op verschillende sloten, oftewel softwaretoepassingen, waardoor data uit Revit zowel in Rhino als in Sketchup kan worden ontvangen. In het geval van de daglichtfactor analyse tool met Speckle

wordt de data in Grasshopper ontvangen via een component waarin de URL van de Speckle stream wordt ingevoerd, zie figuur 7.

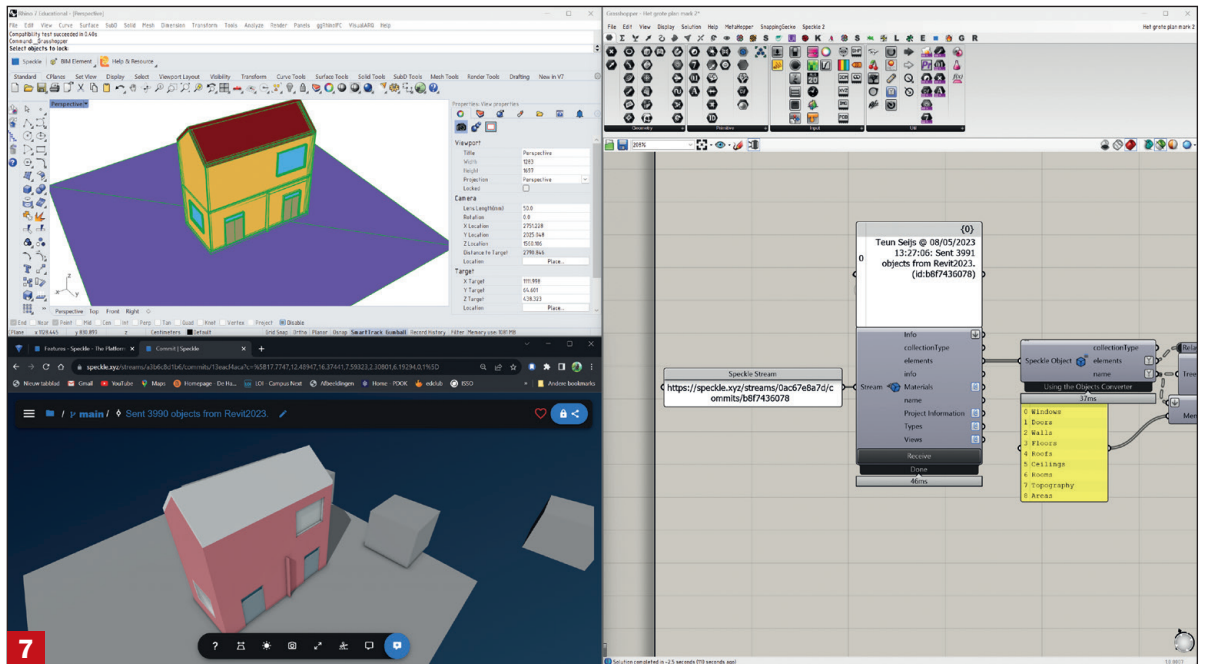
Nadat alle elementen zijn omgezet en het Honeybee-model compleet is, kan de daglichtfactoranalyse worden uitgevoerd op dezelfde wijze zoals eerder besproken. Doordat Speckle geen live verbinding heeft met Revit, worden de parameters van de elementen niet direct aangepast. Hier komt een parameter-updater in Grasshopper in beeld. Met behulp van het element-ID en de parameter-naam kan deze updater de nieuwe waarde in Revit overschrijven. De parameter-updater wordt aangemaakt in een aparte ‘branch’ van de Speckle stream gestuurd en vervolgens in Revit ontvangen waarbij de parameters worden bijgewerkt zie figuur 8. Bij deze versie van het script is het echter alleen mogelijk om de heatmap in de Speckle webomgeving te bekijken.

Deze integratie van Speckle biedt een gestroomlijnde uitwisseling van gegevens en vereenvoudigt het analyseproces, waardoor zowel tijds- als kostenbesparingen worden gerealiseerd. Het opent ook een hoop andere mogelijkheden voor gemakkelijke data uitwisseling tussen verschillende disciplines.

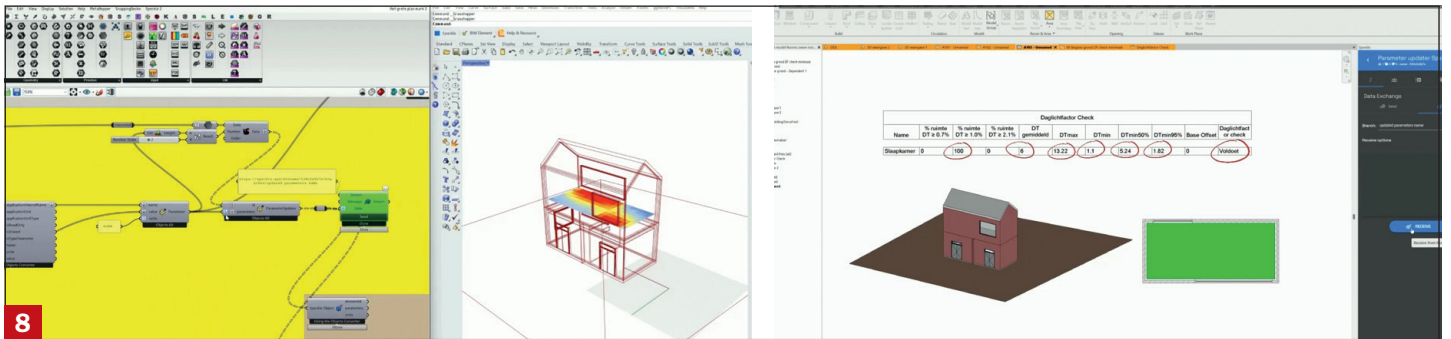
**EEN BLIK OP DE TOEKOMST: DATA UITWISSELING EN ANALYSE**

De tool bestaat feitelijk uit twee kernonderdelen: de data-uitwisseling en de analyse. Er zijn meerdere manieren om data uit te wisselen, zoals duidelijk te zien is aan de twee scriptversies. Beide scripts maken gebruik van platforms zoals Speckle en Rhino.Inside. Het tweede





Speckle objecten in Grasshopper



Resultaten van Grasshopper naar Revit

belangrijke aspect van de tool is de analyse, in dit geval gericht op de daglichtfactor.

Het gebruik van de Grasshopper tool vereist nauwkeurige afstemming van parameter namen in Revit met de parameter namen in het script. Deze uniformiteit is van vitaal belang. De aanbevolen aanpak is om deze namen op te nemen in de ILS O&E (Informatie Levering Standaard Ontwerp en Engineering). Deze standaardisatie zorgt ervoor dat de benodigde gegevens eenvoudig en consistent kunnen worden teruggevonden [6].

Een tool die gebruik maakt van deze data-uitwisselingsmethodes hoeft niet alleen voor daglichtanalyse te worden gebruikt, een Revit-bestand zou kunnen dienen als basis voor energie-efficiëntieberekeningen of comfortevaluaties. Hierbij moeten mogelijk extra bouwfysische parameters aan de Revit-elementen worden toegevoegd, zoals  $R_c$ -waarden die ook opgenomen dienen te worden in de ILS O&E.

Naarmate er vaker Revit modellen gebruik worden om analyses mee te doen die niet standaard in Revit zitten, zal er meer data uitwisseling nodig zijn. Een cruciale vraag wordt dan hoe verschillende partijen hun data kunnen integreren in het centrale BIM zodat alle gespecialiseerde softwarepakketten worden benut, terwijl alle

informatie toch eenduidig op in de BIM wordt opgeslagen. Kortom, de tool bevordert niet alleen efficiënte data-uitwisseling, maar opent ook de deur naar een bredere reeks analyses. Dit betekent een stap vooruit richting een meer interdisciplinaire en gedigitaliseerde benadering van de bouwsector. ■

## BRONNEN

- ▶ [1] NPR 4057, NEN
- ▶ [2] Velux, 2021, 5 november, Design a brighter world, Opgehaald van Velux: <https://youtu.be/tFcZK5KDHQ4>
- ▶ [3] Chadwell, R., 1997, 14 augustus, RADIANCE detailed description, Opgehaald van Radiance online: <https://www.radiance-online.org/archived/radsite/radiance/refer/long.html#:~:text=The%20lighting%20simulation%20engine%20of,emitters>
- ▶ [4] ones, N., 2019, 14 april, Accelerad DAYLIGHTING SIMULATION ON THE GPU, Opgehaald van Accelerad: <https://nljones.github.io/Accelerad/>
- ▶ [5] Speckle, 2023, features, Opgehaald van Speckle: <https://speckle.systems/features/>
- ▶ [6] digiGO, 2021, 1 januari, ILS-Ontwerp & Engineering, Opgehaald van BIM loket: <https://www.bimloket.nl/p/97/ILS-Ontwerp-Engineering>

# BOUWEN IN CLT



**Kunnen jullie ons adviseren over bouwen met CLT voor dit appartementengebouw? Zonder hier specifieke kennis en ervaring mee te hebben, maar met voldoende ervaringen uit andere projecten op zak, gaf ik hier een positieve reactie op. Uiteraard kunnen wij dit, we hebben het immers nog nooit gedaan. Naar verwachting is dat de start die veel bouwfysische adviesbureaus de afgelopen jaren hebben gehad op het gebied van CLT. Zo blijkt in ieder geval uit de eerste sessie die wij hebben gehad met de onderzoeksagenda CLT die is opgericht door de NVBV. Het doel van deze onderzoeksagenda is om kennis te delen tussen de bureaus, zodat we niet allemaal zelf het wiel opnieuw hoeven uit te vinden. We zijn hierbij gestart met het onderwerp bouwakoestiek, ondanks dat dit maar een klein onderdeel is van het bouwen in CLT, maar al uitdagend genoeg is.**

**U**it de eerste sessie, die we inmiddels met een enthousiaste groep bouwfysici, werkzaam bij diverse adviesbureaus, hebben gehad, blijkt dat de behoefte om kennis te delen groot is. De eerste projecten zijn inmiddels opgeleverd, dus de eerste ervaringen zijn opgedaan. Hieruit blijkt dat er nog veel fundamentele kennis ontbreekt bij de adviesbureaus. De informatie die beschikbaar is vanuit de diverse leveranciers komt voornamelijk uit de landen waarin al jarenlang met hout gebouwd wordt (zoals Duitsland, Oostenrijk en de Scandinavische landen) en is nog niet gericht op de Nederlandse bouwpraktijk. Hierbij ontbreekt nog veel informatie over bijvoorbeeld aansluitingen en de geluidisolatie van de knooppunten. Hierdoor is het lastig om een gedegen prognose te maken van de flankerende geluidisolatie en is het risico dat we juist teveel of te weinig doen.

## REGELGEVING NOG NIET TOEREIKEND VOOR HOUT

Ook de regelgeving blijkt nog een probleem te vormen bij de advisering. De lagere frequenties worden bijvoor-

beeld niet meegenomen bij de beoordeling van de geluidisolatie, terwijl deze wel een grote rol spelen bij de geluidisolatie van lichte bouwsystemen, zoals CLT. Juist in deze lagere frequenties presteert dit type vloeren en wanden slechter, waardoor uiteindelijk de akoestische kwaliteit lager is dan wordt verwacht. Oftewel, we adviseren om betere constructies toe te passen, maar dit wordt nog niet altijd door onze opdrachtgevers begrepen en/of overgenomen. Met het risico dat uiteindelijk de akoestische kwaliteit ondermaats is.

Dit is natuurlijk vervelend voor de bewoners, maar op grotere schaal ook voor de toepassing van CLT in de Nederlandse bouwpraktijk. We willen als sector uiteraard voorkomen dat CLT negatief in het nieuws komt door slechte voorbeelden uit de bouwpraktijk. Qua materiaalgebruik en circulariteit moeten de komende jaren forse stappen gezet worden en CLT is een belangrijk onderdeel van deze oplossing. Het zou zonde zijn als dit product een negatief imago krijgt.

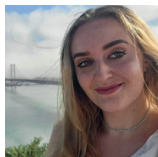
## ONDERZOEK DOEN BUITEN PROJECTEN OM

Vanuit de bureaus blijkt dus een grote behoefte om kennis en ervaringen te delen, maar dit zal niet voldoende zijn om de informatiebehoefte te vullen. De behoefte vanuit de adviesbureaus is om gedegen onderzoek te kunnen doen naar dit onderwerp en niet alleen binnen het budget van een project. Het doel is om gelijkwaardige situatie te realiseren als we nu leveren wanneer het gebouw in beton zou worden uitgevoerd. Wij gaan hier de komende maanden verder mee aan de slag en hopen tijdens het volgende NVBV-evenement onze gezamenlijke ervaringen met jullie te kunnen delen.

En nu vraag je je natuurlijk af of het wel goed is gekomen met dat project uit de inleiding? Uiteraard is dit het geval, het gebouw staat er inmiddels naar ieders tevredenheid. Met het adviesbudget is het echter wat minder voorspoedig verlopen... ■



ir. A.J.C. (Anika) Haak,  
ZRI, Den Haag



G.E. (Gwen) Verdonck,  
Hogeschool Rotterdam



ir. R.C.P. (Rona)  
Vreenegeer, Hogeschool  
van Arnhem en Nijmegen

## LANDELIJKE MINOR 'BOUWFYSICA IN DE PRAKTIJK' GESTART!

### HOGESCHOLEN EN ADVIESBUREAUS SLAAN HUN HANDEN IN EEN.

**Bij de start van dit studiejaar was het zover. Niet eerder in Nederland is er een minor in het hoger onderwijs gestart die zich volledig richt op de bouwfysica. Het idee voor de minor ontstond tijdens een bijeenkomst van de landelijke vakgroep bouwfysica, een groep bouwfysica en installatietechniek docenten afkomstig van Hogescholen en Universiteiten uit heel Nederland. Na een jaar van voorbereiding staat er een minor die voldoet in de behoefte van studenten, docenten en adviesbureaus. Vijftien enthousiaste en gemotiveerde HBO studenten doen mee aan deze eerste editie.**



Groepsfoto tijdens excursie naar Peutz in Mook (fotograaf: Jos Janssen)

#### NOODZAAK

Diverse actuele onderwerpen zoals de groeiende bouwbehoefte, noodzakelijke energietransitie, gezonde leef- en werkomgevingen en duurzaam materiaalgebruik hebben gezorgd voor een groei in de vraag naar bouwfysici. Adviesbureaus zouden graag HBO studenten willen hebben met affiniteit, en waar mogelijk ook, ervaring op het gebied van bouwfysica en installatietechniek om aan deze groeiende vraag te voldoen. Onze HBO studenten die zich interesseren voor dit onderwerp, lopen er echter tegenaan dat op dit moment niet echt geschikte minoren aangeboden wordt op dit vlak.

#### SAMENWERKING HOGESCHOLEN & ADVIESBUREAUS

Docenten die bouwfysica en installatietechniek geven, hebben in een jaar tijd via meerdere werksessies vormgegeven aan de minor waarbij de bouwfysica in de praktijk centraal staat. Mooi om te zien hoe het vakge-

bied en de verschillende achtergronden en ervaringen in het onderwijs werden samengevoegd. Via bestaande (stage)contacten van iedere Hogeschool met bouwfysische adviesbureaus zijn de bedrijven erbij betrokken. Hun inbreng was van groot belang om de minor te laten slagen. Voor de minor is een samenwerkingsovereenkomst opgesteld tussen vier Hogescholen: Avans Hogeschool, Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN), Haagse Hogeschool (HHS) en Hogeschool Rotterdam (HR) waarbij de HAN de penvoerder is.

#### OPZET VAN DE MINOR

De minor is in eerste instantie opgezet voor studenten uit het domein Built Environment. Dit betekent dat studenten met een bouwkundige, ruimtelijke ontwikkeling of civieltechnische studie kunnen deelnemen. In de toekomst zien we ook graag studenten van de opleidingen werktuigbouw en natuurkunde.

Zoals de titel van de minor al doet vermoeden ontwikkelen de studenten niet alleen kennis op school, maar ook in de praktijk. Hierbij worden ze door zeven docenten en diverse adviesbureaus begeleid om hun huidige kennis te verbreden en/of verdiepen. De docenten zijn afkomstig van de eerdergenoemde Hogescholen en worden bijgestaan door een collega van InHolland.

Tijdens de minor werken de studenten twee dagen per week bij hun zelf uitgekozen adviesbureau dat is gespecialiseerd in de bouwfysica. De studenten hebben met behulp van een sollicitatieboekje, waarin de eerder betrokken bedrijven zich voorstellen, of eventueel zelf gevonden bedrijven gesolliciteerd naar een 'stageplek' voor de minor. Bij de bedrijven doen de studenten ervaring op in het bedrijfsleven en werken ze mee aan lopende projecten. Middels een Persoonlijk OntwikkelingsPlan (POP) geven de studenten zelf richting op welk gebied ze opdrachten uitvoeren.



Op zoek naar biobased materialen in het Pavilion (fotograaf: Rona Vreenegeor)



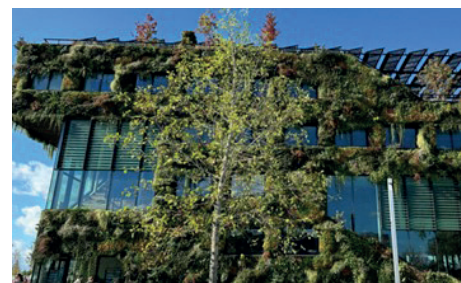
Bewonderen groene interieur van Aeres Hogeschool (fotograaf: Rona Vreenegeor)

De resterende dagen worden ingevuld door een casusonderzoek waar de studenten in groepjes aan werken. Hiervoor komen de studenten één dag per week naar Avans in 's-Hertogenbosch voor een coachingsdag.

De casussen bestaan uit twee totaal verschillende projecten afkomstig uit de praktijk. Zo bestaat het éne project uit een nieuwbouwproject en het andere project uit een renovatieproject. De studenten mochten zelf kiezen aan welke casus ze willen werken, waarna de studenten ingedeeld zijn in groepen. Binnen de groepjes werken de studenten individueel onderdelen uit die samen geïntegreerd moeten worden tot één eindproduct.

De studenten zijn gevraagd ook hun adviesbureau bij de casus te betrekken middels expertadvies.

Tijdens de minor worden excursies georganiseerd door de studenten zelf, met hulp van hun contacten bij het stagebedrijf, naar interessante en leerzame projecten, beurzen en bijeenkomsten. Ook de organisatie van een gastlezing tijdens een coachingsdag behoort tot de mogelijkheden. Op die manier wordt de inhoud afgestemd met de kennis- en interesse behoefte van de studenten en zijn de adviesbureaus meer dan alleen een stagebedrijf.



Excursie naar Aeres Hogeschool Almere met focus op WELL (fotograaf: Rona Vreenegeor)



Excursie naar Natural Pavilion in Almere (fotograaf: Thomas Smit)

## AFTRAP

De eerste week stond in het teken van kennis maken met elkaar, de casussen en het vakgebied. Op de eerste dag presenteerden de opdrachtgevers van de verschillende casussen hun project waarna de studenten gelijk hun stem konden geven aan de casus waaraan ze het liefst willen werken tijdens de minor. Op de dinsdag begonnen de meeste studenten aan hun eerste stagedag. Ze hebben kennis gemaakt met het bedrijf en in enkele gevallen al een project toegewezen gekregen waaraan ze de komende tijd aan mogen werken. Op woensdag werden de groepen ingedeeld en zijn de beschikbare stukken van de casussen bestudeerd. Ook konden de studenten zich voorbereiden op hun bezoek aan het casusproject later die week.

Op de donderdag zijn de studenten op excursie geweest in Almere waarbij ze een bezoek hebben gebracht aan de Aeres Hogeschool. In de school wisten Laura van de Pol (DGMR) en Bjorn Brink (Aeres) de studenten mee te nemen in WELL certificering en implementatie ervan in het Aeres schoolgebouw. Vervolgens bezochten de studenten het naastgelegen Natural Pavilion. Hier nam Diana de Krom (ABT) ze mee in het biobased bouwen en de kans om te experimenteren bij het oorspronkelijke Floriade gebouw. Op vrijdag hebben de studenten een bezoek gebracht aan hun zelfgekozen casusproject.

## CASUSPROJECTEN

Tijdens de minor werken de studenten aan één casusproject. Het is de bedoeling dat de studenten een onderzoek doen naar een zelf-



Excursie Stevenskerk Nijmegen  
(fotograaf: Gwen Verdonck)

gekozen bouwfysisch onderwerp waarbij onderdelen individueel uitgewerkt worden en geïntegreerd samen moeten komen in het eindresultaat. De twee aangereikte casussen zijn totaal verschillende projecten. De éne casus betreft een monumentale pastorie in Arnhem. De eigenaar zou de pastorie graag transformeren van één woning naar meerdere wooneenheden. Waarbij aan de éne kant aandacht wordt besteed aan het behoud van het historische karakter. En aan de andere kant aan het uitvoeren van een energetische renovatie en maken van comfortabele woningen.

Het tweede casusproject is afkomstig van DGMR en betreft een nieuwbouwproject aan de Coolingsingel in Rotterdam. Ontwikkelaar Edge wil in de binnenstad een 'state of the art' kantoorgebouw realiseren dat zeer energie efficiënt is en waarbij comfortabele en gezonde werkplekken centraal staan. De studenten doen het onderzoek in een groep van vijf leden, waarbij de individuele onderzoeken zijn afgestemd op ieders interessegebied en integraal resulteren in een compleet advies.

De experts binnen de bedrijven ondersteunen de studenten bij hun individuele onderzoek. Aan het einde van de minor is het de bedoeling dat de studenten een presentatie geven voor de docenten, medestudenten van de minor, opdrachtgevers en begeleiders bij de adviesbureaus.

## EXCURSIES

Naast het werken bij het stagebedrijf en aan het casusproject is er elke twee weken de mogelijkheid om op excursie te gaan. Naast Aeras Hogeschool en het Natural Pavilion in Almere is Peutz in Mook bezocht om kennis te maken met een jonge projectleider, die ooit

Bouwkunde aan de HAN heeft gestudeerd, en een senior projectleider om een inkijkje te krijgen van een mogelijke carrière als bouwfysicus. Natuurlijk zijn de diverse labs, zoals de windtunnel, geluidlabs en het bouwfysica lab van Peutz bezocht.

Tijdens de week van duurzaam erfgoed 2023 is de Stevenskerk in Nijmegen bezocht en kwamen ze op plekken waar je normaal gesproken geen toegang toe hebt. In de kerk is een presentatie gegeven over de verduurzamingsplannen. Waarna de studenten op het dak zijn geweest (figuur 6) en hebben ze uitleg gekregen over hoe het dak van de kerk verduurzaamd is.

## STUDENTEN AAN HET WOORD

**Student:** Gwen Verdonck  
**Stagebedrijf:** Deerns, Den Haag  
**Hogeschool:** HR

'Ik heb voor deze minor gekozen, omdat ik me graag verder wilde oriënteren in het vakgebied bouwfysica. Voor mijn gevoel werd er tijdens mijn studie Bouwkunde onvoldoende aandacht besteed aan bouwfysica. Met deze minor kan ik mijn kennis in de bouwfysica verbreden.

Tot nu toe is de minor leuker dan verwacht. Mijn medestudenten hebben ook veel interesses in bouwfysica en dus leer ik ook veel van mijn medestudenten naast mijn stagebedrijf, onderzoek en excursies.

Tijdens deze minor ben ik twee dagen per week werkzaam bij Deerns in Den Haag. Ik verbreed mijn kennis en ik krijg te maken met verschillende en leuke projecten. De combinatie van leren van de minor en van een bedrijf is erg leuk. Je bent met alles tegelijk bezig. Onderzoeken en ervaring opdoen in de praktijk.'

**Student:** Thomas Smit  
**Stagebedrijf:** DGMR, Arnhem  
**Hogeschool:** HAN

'Momenteel volg ik de Bouwfysica in praktijk minor. Voor de minor loop ik stage bij advies- en ingenieursbureau DGMR te Arnhem. Ik heb voor deze minor gekozen omdat ik mij graag wilde verdiepen in één van de vele disciplines die onder de bouwfysica vallen. Mijn gekozen discipline is duurzaamheid.

Momenteel zijn we een aantal weken onderweg in onze minor. Tot nu toe ben ik erg blij met mijn keuze. Ik word vrijgelaten in wat ik wil doen en wat ik wil leren. Op deze manier ga ik echt op zoek naar een onderwerp dat mij voldoening geeft. De begeleiding van bouwfysica docenten van diverse Hogescholen door heel Nederland bevalt mij goed. Ze stimuleren ons om de uitdaging op te zoeken.

De combinatie tijdens deze minor van stage en een casusproject op school bevalt mij goed. Met mijn groepje hebben wij als opdracht een zeer ambitieus en duurzaam nieuwbouw kantoor van Edge in Rotterdam. Hiervoor hebben wij een hoop kennis en ervaring nodig uit het werkveld. De momenten dat ik bij DGMR op kantoor zit, gebruik ik dan ook goed om van verschillende collega's te leren. Dit leidt ook vaak tot leuke gesprekken.'

Ook kon de vakbeurs Energie niet ontbreken. Op het excursieprogramma stonden verder nog een bezoek aan Deerns in Eindhoven, in combinatie met de Dutch Design Week, waar onder andere ABT staat met een rammed earth wall.

Door de student zelf te laten zoeken naar een interessante excursie, breiden ze hun netwerk uit. Sommigen zijn al in gesprek over een mogelijke afstudeeropdracht.

## VOORUITBLIK 2024-2025

Wilt u ook graag een bijdrage leveren aan deze minor, laat het ons weten! Voor volgend studiejaar zijn we weer op zoek naar twee casusprojecten, gastlezings en excursies. ■

## MOOC SUSTAINABLE BUILDING WITH TIMBER

Interview met Gilbert Koskamp over de nieuwe Massive Online Open Course (MOOC) Sustainable Building with Timber op EDX: <https://online-learning.tudelft.nl/courses/sustainable-building-with-timber>

**Gilbert Koskamp** is docent aan de bouwkunde faculteit van de TU Delft, onderzoeksdocent aan de Academie van Bouwkunst in Amsterdam en medeoprichter en partner met Pierre Jennen van Ssse|OvO architects. Hij groeide op in Zwitserland waar hij bouwtechniek en architectuur studeerde. Hij werkte als architect in Sankt Gallen en woont en werkt sinds 1995 in Amsterdam. Naast de dagelijkse praktijk onderzoekt hij *Design of Timber Construction*, is medeoprichter van het platform TREE\_TimberReEngineered én initiator en coördinator van Touching Cellulose, een lezingreeks over hout aan de TU Delft.

Bij de redactie kwam er een bericht binnen over deze MOOC die op 15 november 2023 startte, waar we graag meer over te weten kwamen. Gilbert vertelt dat deze MOOC in

samenwerking is ontwikkeld met professor Arjan van Timmeren, Elizabeth Migoni Alejandre, Pablo van der Lugt en Pierre Jennen van de Faculteit Bouwkunde van de TU Delft, Joke Dufourmont van het AMS Instituut, Michelle Stede en Arjan Alkema van FSC Nederland en Santiago Reinel van Ssse|OvO. Deze MOOC maakt deel uit van het EU-LIFE project Home for the Future en wordt ondersteund door Lister Buildings, VIA University College, geWOONhout en MaterialDistrict.

De MOOC is een 6-weekse online cursus. De eerste twee modules zijn een inleiding op hout, van bos tot balk, en op het maken van een Life Cycle Analyse van hout. Module 3 is het meest interessant voor bouwfysici. In deze module worden de basiseigenschappen van hout en houtconstructies toegelicht op zowel thermisch, akoestisch en seismisch gebied. Ook brandveiligheid en verschillende aspecten van gezondheid worden hier behandeld. Module 4 gaat over de toepassing van hout in verschillende gebouw typologieën.

‘Hoe hou je nou een gebouw droog en wat betekent dat voor de anatomie van de gebouwschil’ is het onderwerp van module 5. Hierbij wordt de opbouw van een houten façade verder onder de loep genomen, dus ook verschillende producten, thermische weerstand en water-run-off strategieën. Module 6 illustreert de mogelijkheden ter opschaling van prefab bouwen met hout met filmpjes uit de praktijk.

Gilbert heeft zelf gewerkt aan de module “Health and Wellbeing”. In deze module worden wetenschappelijke onderzoeken uitgelicht die ingaan op de invloed van hout op de gezondheid van de mens. Voor hem persoonlijk zeker een kernboodschap onder het motto “wij bouwen immers ruimtes voor mensen die in een gezonde omgeving willen wonen en werken”. Kortom, volgens Gilbert is het een heel interessante cursus voor de beginner in bouwen met hout. Hierin wordt de bouwfysica niet geschuwd, maar niet op alle aspecten in detail behandeld. De doorkijkjes naar de toekomst en de praktische voorbeelden zorgen er volgens Gilbert voor dat ook de al wat gevorderde bouwer in hout er wat van zijn of haar gading in kan vinden. ■

## VRAAG EN ANTWOORD: HOUT THERMISCH OP ORDE

**Aan onze deskundigen in de bouwfysicapool (lees: de lezers) vragen we om antwoord te geven op prangende vragen die spelen binnen het bouwfysisch spectrum. Hieronder antwoorden op de vraag van vorige keer. Als toetje een volgende vraag die klaarligt om beantwoord te worden. Zo houden we de boel draaiende.**

### VRAAG

*Het thema van het dit nummer van Bouwfysica is ‘Hout’. Daar is veel over te vertellen. Maar hoe kun je lichte gebouwen thermisch op orde krijgen? Kun je dan eigenlijk wel zonder massa? Of moet je dan zoveel andere materialen toevoegen, dat het eigenlijk geen houtbouw meer is?*

### Geen probleem – Jan Geerts (Seven)

In gebouwen met een goede thermische schil (goed geïsoleerd en luchtdicht) is de invloed van thermische massa verwaarloosbaar klein. Een houten gebouw met ecologische materialen valt in de categorie ‘middel’. Een betonnen gebouw in ‘zwaar’. In warmtebehoefte, pieklast en temperatuuroverschrijding zit vrijwel geen onderling verschil. Laat thermische massa dus geen besliscriterium zijn voor het wel of niet toepassen van hout!

### Oude oplossingen – Maarten Gies (DGMR Bouw bv)

Kan prima, alleen misschien wel terugvallen op oude technieken, liefst passief. Denk aan:

- thermisch goed isoleren;

- regelbare zoninstraling met ouderwetse buitenzonwering of overstekken (markiezen, louvre enzovoort);
- natuurlijke schaduw van bijvoorbeeld bomen;
- slimme ventilatie die lucht vanaf een (relatief) koele of warme plek kan halen (in de zomer dus vanuit de schaduwzijde, in de winter vanaf een mooie zonzijde, liefst via een zwarte buis);
- energiezuinige apparatuur, verlichting en dergelijke, in verband met het beperken van de interne warmtelast, met name in de zomer;
- slim ontwerpen zodat je voorkomt dat je tocht krijgt zodra er iemand binnenkomt of weggaat (sluis, gang et cetera).

Het lukt natuurlijk niet zomaar om ventilatie-lucht onder de buitenluchttemperatuur te krijgen, dus daar heb je dan wel iets voor nodig in de vorm van koeling door middel van een warmtepomp ofzo. Of accepteren dat het toch relatief warm wordt. Belangrijk is om de zon buiten te houden en gebruik te kunnen maken van de lage nachttemperatuur in de zomer. ■

Voor het volgende blad ligt al een vraag klaar:

### VRAAG

*Per 1 januari ging dan eindelijk de Omgevingswet in. Er zijn kleine en grotere wijzigingen. Er wordt nog wel eens gemopperd op het teveel aan regels. Maar er zijn ook dingen niet verplicht waarvan je zou willen dat het wél geregeld was. Vandaar onze vraag: Aan welke eis die niet in de bouwregelgeving staat erger jij je het meest?*

Wie o wie gaat deze beantwoorden? Stuur uw reactie – van kort advies tot compleet betoog – binnen twee weken na verschijnen van dit blad naar [redactie@nvbv.org](mailto:redactie@nvbv.org). Wie weet komt uw reactie dan in het volgende blad en ontvangt u de NVBV-chocolade! Geef het ook aan als u anoniem wilt blijven. De redactie behoudt zich het recht voor ingezonden reacties in te korten.

Heeft u zelf een prangende vraag? Stuur het met een korte toelichting naar [redactie@nvbv.org](mailto:redactie@nvbv.org).

## PROMOVENDI AAN HET WOORD

### AFFORDABLE MINIMUM THERMAL AND IAQ STANDARDS OF LIVING SPACES FOR POOR INHABITANTS IN SURAKARTA INDONESIA

**Name:** Yai Arsandrie  
**Nationality:** Indonesian  
**University:** Delft University of Technology  
**Department/unit:** Department of Architecture Engineering+ Technology (AE+T), Environmental and Climate Design Research Group  
**Study-background:** Architecture



#### WHAT IS THE TOPIC OF YOUR RESEARCH?

Current thermal and IAQ standards have values that seem difficult to reach for low-income groups. On the other hand, community groups that are used to living in non-ideal residential environments might have adapted to the climate. They can adapt by moving outside when the air is too hot, or by changing clothes. Besides, accepting substandard thermal comfort is a natural way of adaption. This research will examine the level of thermal comfort and minimum indoor air quality that is accepted by resi-

dents of less liveable dwellings compared to the level of thermal comfort and minimum indoor air quality in general. Furthermore, simulations are applied to see how far changes to the physical conditions of dwellings in residential areas of people from low economic groups can improve the thermal conditions and the indoor air quality. Modifications will be made to building materials as well as openings/ventilation to obtain results which are expected to be closer to the thermal comfort values the inhabitants can accept.

#### WHY IS YOUR RESEARCH IMPORTANT FOR THE READERS OF BOUWFYSICA?

This research takes a case study in the city of Surakarta Central Java Indonesia, which has a tropical climate. Thermal assessment has been carried out on more than 400 dwellings and people. The result of this research is expected to become a reference for thermal comfort standards for types of residential buildings for people from low economic groups in hot humid climates. Through this research, it is hoped that people who live in less liveable housing can improve their quality of life and productivity by improving the thermal conditions in their dwellings. ■

### ARCHITECTURAL CARDBOARD - INVESTIGATIONS INTO THE MECHANICAL BEHAVIOUR OF CARDBOARD AS BUILDING MATERIAL

**Name:** Julia Schönwälder  
**Nationality:** German  
**University:** TU Delft  
**Department/unit:** Structural Design and Mechanics, Department of Architectural Engineering and Technology, Faculty of Architecture  
**Study-background:** Background: Msc (Dipl.-Ing. ) Civil Engineering



#### WHAT IS THE TOPIC OF YOUR RESEARCH?

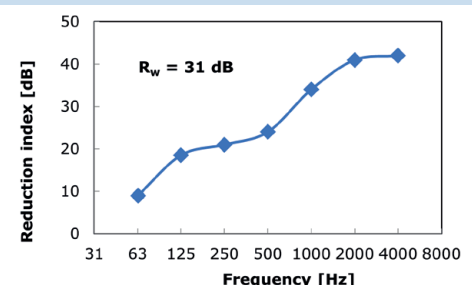
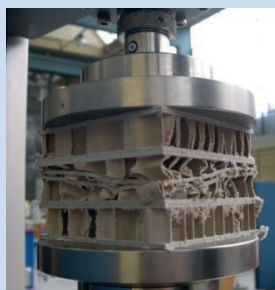
In my research, I am investigating the mechanical and structural behaviour of cardboard in order to use it as a building material. Paper and cardboard are indispensable for our daily use, but considering them as building material is not a common practice yet. Paper or cardboard is cheap, bio-based, made from renewable or recycled resources, environmentally friendly, recyclable and also strong (just think of how much a paper bag can carry). So why not using it as a construction material? Especially for temporary constructions this can become very beneficial. Quite a number of pioneering projects using paper and cardboard have already been built,

especially by the Japanese architect Shigeru Ban. But the lack of knowledge pertaining to the mechanical properties of paper and cardboard made these constructions complex.

The aim of my research is to gain insight into the mechanical and structural behaviour of cardboard elements and to enable the use of cardboard as a building material through computational simulations. This is done by experimental tests at material and structural level and the development of a constitutive material model for cardboard.

#### WHY IS YOUR RESEARCH IMPORTANT FOR THE READERS OF BOUWFYSICA?

As the use of cardboard as building material becomes reasonable, its building physical properties also become of interest. Cardboard elements have both structural and physical advantages. Wall elements made of corrugated or honeycomb panels are a very good thermal insulator due to the large air cavities. The reported values of the thermal conductivity of a single corrugated board are up to 0.045 W/mK, whereas plywood has a value of 0.35 W/m. Cardboard also performs well in acoustic terms. The acoustic reduction index of a partition wall tested at the TU Delft was measured at 31 dB. ■



## NIEUWE NEN-NORMEN

In deze rubriek wordt een overzicht gegeven van de normen, normontwerpen, correctiebladen en aanvullingsbladen op het gebied van de bouwfysica die vanaf oktober 2023 zijn verschenen.

### NORMEN

Normnummer	Titel	Publicatiedatum
NEN-EN-ISO 52016-3:2023 en	Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 3: Calculation procedures regarding adaptive building envelope elements	26-10-2023
NPR-ISO/TR 5911:2023 en	Licht en verlichting - In bedrijfstelling van verlichtingssystemen in gebouwen - Uitleg en verantwoording van ISO/TS 21274	9-11-2023
NEN-EN 17839:2023 en	Glas voor gebouwen - Beglazing en luchtgeluidisolatie - Validatieprocedure voor rekenhulpmiddelen	13-11-2023
NEN-ISO 9869-3:2023 en	Thermische isolatie van bouwelementen - In situ meting van thermische weerstand en thermische transmissie - Deel 3: Methode voor het inbrengen van sondes	4-12-2023

## VAN HET BESTUUR

NVBV is verhuisd! Ik ben benieuwd wie het is opgevallen, maar ons correspondentieadres is gewijzigd. Niet omdat we dat zelf zo wilden, maar vanwege de Wtt. Dat zit zo:

NVBV werkt al een aantal jaren met de TVVL. Zij verzorgen verschillende administratieve handelingen voor ons. Dat doen ze ook voor andere verenigingen. Het is dus een verenigingsmanagementbureau. En vallen onder de reikwijdte van de Wet toezicht trustkantoren Wtt. TVVL heeft gesprekken gehad met een advocaat. Eén van de punten is dat de NVBV niet onder hetzelfde adres kan vallen als de TVVL. Dat was nu wel zo. Hoogst verdacht natuurlijk. Dus heeft het bestuur een nieuw adres gezocht. We dachten dat het zakelijke adres van de secretaris wel een logische zou zijn. Maar dat bleek uiteindelijk niet mogelijk, zodat we nu het adres van de voorzitter aanhouden. Onze e-mailadressen zijn gelukkig wel gelijk gebleven.

In 2024 gaan we weer mooie dingen doen. Ik kan vast verklappen dat er voor de bouwfysicadag op dinsdag 28 mei alweer hele fijne sprekers zijn gevonden. En dat we de ALV op 11 april weer op een interessante locatie houden. En dat is niet ons 'nieuwe' adres. ■

Annet van der Horn

## SPONSORS VAN DE NVBV

**PEUTZ**

peutz group  
vestigingen in nederland, België,  
Duitsland, Frankrijk en Spanje

www.peutz.nl

## Toe aan een duurzame carrière?

- Installatietechniek
- Bouwfysica, akoestiek, brandveiligheid
- Duurzaamheid
- Prestatiemonitoring

**KLICET**



bekijk vacatures

Oisterwijk | 0416 669 999 | info@klicet.nl | www.klicet.nl



Royal HaskoningDHV  
Consultancy, Engineering & Management

# Enhancing Society Together

[royalhaskoningdhv.com](http://royalhaskoningdhv.com)



CAUBERG HUYGEN








BOUWFYSICA AKOESTIEK DUURZAAMHEID VEILIGHEID MILIEU BOUWKWALITEIT

[www.cauberghuygen.nl](http://www.cauberghuygen.nl)



# EERLIJK+ DUURZAAM

- + Inspectie + Brandveiligheid
- + Akoestiek + Bouwfysica
- + Energiebeheer
- + Installatietechniek

[www.k-plus.nl](http://www.k-plus.nl)

K+ ADVIESGROEP 




**Mensen met oplossingen voor een goed leef- en werkcomfort**

M+P | MBBM groep  
[www.mp.nl](http://www.mp.nl)

40 jaar



# NIEMAN®

DE RAADGEVENDE INGENIEURS

**WIJ MAKEN GEBOUWEN EN HUN OMGEVING BETER:  
VEILIG, DUURZAAM EN COMFORTABEL**

[www.NIEMAN.nl](http://www.NIEMAN.nl) [www.WERKEN BIJ NIEMAN.nl](http://www.WERKEN BIJ NIEMAN.nl)

## Aanbesteden & Contracteren Bouwfysica & Bouwtechniek Bouwmanagement



**Zri** Van Zanten Raadgevende ingenieurs  
Balistraat 1, 2585 XK Den Haag  
070-3615559 [contact@zri.nl](mailto:contact@zri.nl) [www.zri.nl](http://www.zri.nl)



[www.arup.com](http://www.arup.com) 020 305 85 00



STRUCTURAL  
ENGINEERING



MECHANICAL  
ENGINEERING



ELECTRICAL  
ENGINEERING



BUILDING PHYSICS



ACOUSTICS



FIRE SAFETY

LocHal Tilburg



nelissen  
ingenieursbureau

- installatietechniek
- bouwfysica, akoestiek en brandveiligheid
- duurzaamheid

NatLab 2.0 te Eindhoven

[www.nelissenbv.nl](http://www.nelissenbv.nl)

Onze overtuiging is dat mensen het beste tot hun recht komen in een duurzame, veilige en gezonde omgeving.

**Levend bewijs**

We dagen onszelf elke dag uit om met vernieuwende oplossingen te komen.

[www.dgmr.nl](http://www.dgmr.nl)

Adviseurs voor bouw, industrie, verkeer, milieu en software

**dGm<sup>R</sup>**

EDGE Olympic Amsterdam



**LBP|SIGHT**

Een veilige, gezonde en duurzame leefomgeving? Wij geloven dat het kan!

LBP|SIGHT: onafhankelijk advies- en ingenieursbureau in Nieuwegein

[lbsight.nl](http://lbsight.nl)



Eindhoven / Venlo / Geleen 077 351 55 51

**Volantis**  
CONSULTANCY | DESIGN | ENGINEERING

"Change the perspective"

[www.volantis.nl](http://www.volantis.nl)



**ALCEDO**

GEEN GEDOE. GRAAG GEDAAN.

Advies voor bouw, omgeving en gebouwen

[WWW.ALCEDO.NL](http://WWW.ALCEDO.NL)



**abt** [abt.eu](http://abt.eu)

**Grensverleggend waarmaken**

Wil jij samen met ons de gebouwde omgeving duurzamer en gezonder maken?

Kijk dan op [werkenbijabt.eu](http://werkenbijabt.eu)



**Here's where engineering matters**

Bouwfysica, akoestiek, brandveiligheid en installaties

Wij werken in de afdeling bouwfysica & energie met circa 50 adviseurs, projectleiders en specialisten aan grote en complexe projecten zoals commercieel en openbaar vastgoed, ziekenhuizen, luchthavens, laboratoria. Deerns is een internationaal adviesbureau met een informele sfeer en veel ontwikkelingsmogelijkheden.

Contact: Pieter Schepman  
Nummer: +31 643990851  
Scan QR code voor meer info

**Deerns**



**B U R O**

**BOUWFYSICA**

Akoestiek - Brandveiligheid - Bouwfysica - Duurzaamheid

[www.burobouwfysica.nl](http://www.burobouwfysica.nl)

**SONOGAMMA**  
FINEST ACOUSTICS

Prijswinnende innovatieve akoestische oplossingen  
Geluidsabsorberende en geluidsverstrooiende producten  
Niet zichtbaar: micro-perforatie, micro-porositeit  
Thermo-akoestische systemen

[www.sonogamma.com](http://www.sonogamma.com)

MaterialPREIS2013

SWISS TECHNOLOGY AWARD

FINALIST 14<sup>th</sup> DÉCIBEL D'OR CAT. ACOUSTISCHES MATERIALEN

ACOUSTICS A-WARDS WINNER 2015





**Noorman**  
Bouw- en milieu-advies

Akoestiek Bouwfysica Brandveiligheid Geluid Milieu



[noormanadvies.nl](http://noormanadvies.nl)  
Groningen | Apeldoorn

KENNISGEDREVEN AKOESTISCHE PRODUCTONTWIKKELING



**MATUDE**  
interieur-akoestiek

[www.matude.nl](http://www.matude.nl) // [matude@matude.nl](mailto:matude@matude.nl) // 0348 750 682

[www.moBiusconsult.nl](http://www.moBiusconsult.nl)  
BOUWFYSICA – AKOESTIEK – BRANDVEILIGHEID – DUURZAAM BOUWEN – INSTALLATIETECHNIEK

**moBius**  
consult



Driebergen ~ Delft

**BLONK ADVIES**  
Bouwfysica | Akoestiek | Brandveiligheid

**atriensis**

**Bouwvisie**   
RAADGEVENDE INGENIEURS

## IN HET VOLGENDE NUMMER

Het volgende nummer wordt licht en groen. Licht omdat we twee artikelen over daglicht hebben. Beide met een geheel andere insteek. De ene gaat over de belemmeringen die we wel of niet meenemen in de berekening van het daglicht, de andere gaat over de hoogte van de daglichteis. Het grappige is: het zijn beide afstudeerartikelen.

Het groene gedeelte komt van een stuk over groene gevels, en een stuk over biodiversiteit in de gebouwde omgeving. Na het lezen van dit laatste stuk schrijf je niet zo maar meer een groen dak voor, maar hou je rekening met verschillende zones en met de omgeving.

Als het meezit hebben we ook twee artikelen over binnenklimaat, maar wel

over twee heel verschillende gebouwen en niveaus.

Een doorkijkje naar het zomernummer: bio-based maakt kans om het thema te worden. Heeft u daar toevallig verstand van, dan zouden we dat graag horen.

U kunt contact opnemen via [redactie@nvbv.org](mailto:redactie@nvbv.org) ■

### COLOFON

#### Bouwfysica

34e jaargang,  
nummer 3, 2023  
april 2024  
ISSN 0928-5377

#### Redactie

ir. Annet van der Horn-  
de Vries (hoofdredacteur,  
NEN)  
ir. Mirjam Peters  
(eindredacteur, DGMR)  
ir. Lennart Schmitz  
(Royal HaskoningDHV)

ir. Ernst Kabel (Peutz)  
ir. Tom Bouwhuis (M+P)  
ir. Regina Bokel (TU Delft)  
ir. Svebor Heruc (Avans)  
ir. Kitty Huijbers (ABT)

#### Redactieadres

bij voorkeur per e-mail:  
[redactie@nvbv.org](mailto:redactie@nvbv.org)

of anders:  
p/a DGMR  
Postbus 153  
6800 AD ARNHEM

#### Abonnementen

€ 77,25 per jaar

#### Advertentietarieven

Op aanvraag

#### Grafische realisatie

Twin Media BV, Zeist  
Gedrukt op  
chloorvrij papier

### NEDERLANDS VLAAMSE BOUWFYSICA VERENIGING

#### Bestuur

Ieke Kuijpers-van Gaalen  
(voorzitter, DGMR)  
ir. Douwe de Jong  
(penningmeester,  
RHDHV)  
ir. Marc Kalee  
(secretaris, LBP | SIGHT)  
ir. Tim Weekenstro  
(ledenadministratie,  
Peutz)  
ir. Annet van der Horn  
(communicatie, NEN)  
ir. Bo Dorresteyn  
(activiteiten, Arup)

#### Secretariaat en informatie

Nederlands Vlaamse  
Bouwfysica Vereniging  
Weerdjesstraat 70  
6811 JE Arnhem  
Postbus 153  
6800 AD Arnhem

Bij voorkeur per  
e-mail naar:  
[secretaris@nvbv.org](mailto:secretaris@nvbv.org)  
website: [www.nvbv.org](http://www.nvbv.org)  
Bankrekening:  
NL25TRI00379471833

#### Lidmaatschap

€ 80,- per jaar (bij  
automatische incasso);  
studenten 15 euro;  
zie website voor details  
en inschrijvingsformulier.

Leden en sponsors van  
de Nederlands Vlaamse  
Bouwfysica Vereniging  
ontvangen het blad  
Bouwfysica.





